

**Efeito da rega deficitária na fisiologia, crescimento
vegetativo, produção e qualidade da uva, casta Touriga
Nacional (*Vitis vinífera* L)**

André Filipe Jesus Palma

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Viticultura e Enologia

Orientador: Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes

Júri:

Presidente: - Doutor Jorge Manuel Rodrigues Ricardo da Silva, Professor
Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais:

- Doutor Carlos Manuel Antunes Lopes, Professor Associado com Agregação
do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa;
- Doutor Joaquim Miguel Rangel da Cunha Costa

Lisboa, 2014

Trabalho elaborado no âmbito do projecto “INNOVINE (Combining innovation in vineyard management and genetic for a sustainable European viticulture) financiado pela União Europeia (FP7/2007-2013, grant agreement nº FP7-311775).

AGRADECIMENTOS

Foram muitas as pessoas que ao longo deste trabalho contribuíram para a sua realização e que me apoiaram, a elas expresso aqui o meu sincero agradecimento.

Ao Prof. Carlos Lopes pela orientação, disponibilidade, ensinamentos e pela atenta revisão do trabalho escrito.

Ao Eng. Ricardo Egpto pela disponibilidade, partilha de conhecimentos e imensa ajuda no trabalho de campo, mas essencialmente no tratamento e análise de dados.

À equipa do ITQB, Miguel Costa, Olfa Zarrouk e estagiárias, Ivan Garcia, Prof. Manuela Chaves, pelo apoio na recolha e análise de dados.

À Herdade do Esporão, em concreto ao Eng. Rui Flores e ao Eng. Amândio por todo o auxílio técnico e disponibilidade prestado no local do ensaio.

À excelente equipa de trabalho formada pelos meus colegas e amigos Rui Cruz, Diogo Ferreira Borges, Rui Monteiro e João Graça, pela amizade, companheirismo e dedicação, pois sem eles a realização desta tese não teria sido possível.

A todos os professores do mestrado de Viticultura e Enologia pelo seu enorme contributo no enriquecimento do meu conhecimento científico.

À Rosana pelo carinho, incentivo, compreensão e paciência ao longo de todo o trabalho.

Ao meu irmão e aos meus pais e pelo apoio e confiança depositada em mim ao longo de todo o meu percurso académico.

RESUMO

Este trabalho tem como objectivo comparar os efeitos de duas estratégias de rega deficitária ao nível da fisiologia, crescimento vegetativo, produção e qualidade da uva na casta “Touriga Nacional” e insere-se no âmbito do projecto europeu INNOVINE. Apresentam-se resultados relativos ao ano de 2013, do ensaio instalado na Herdade do Esporão. Comparam-se dois tratamentos de rega: SDI (*Sustainable Deficit Irrigation*) que corresponde a 80% evapotranspiração cultural e RDI (*Regulated Deficit Irrigation*) que representa 50% da água aplicada no SDI. A modalidade SDI apresentou valores de potencial hídrico foliar, fotossíntese e condutância estomática significativamente superiores aos da RDI. Verificou-se que a casta “Touriga Nacional” possui um elevado controlo sobre os estomas em condições de carência hídrica. Verificou-se ainda que as videiras sujeitas à modalidade RDI exibiram uma melhor eficiência do uso intrínseco da água ao longo de todo o ciclo vegetativo. Observou-se também uma elevada capacidade de recuperação da videira perante uma situação de stress hídrico. Ao nível agronómico verificou-se que a modalidade SDI apresentou uma área foliar significativamente superior à da modalidade RDI mas um rendimento similar. Relativamente à composição do mosto à vindima ambas as modalidades apresentaram valores similares com excepção do pH mais elevado na modalidade RDI.

Palavras chave: Rega deficitária, Videira, Relações hídricas, Défice hídrico, Crescimento vegetativo, Produção.

ABSTRACT

This work was carried out to compare the effects of two deficit irrigation treatments on vegetative growth, ecophysiology, yield and berry composition of the variety “Touriga Nacional”, as part of the European project “INNOVINE – Combining innovation in vineyard management and genetic for a sustainable European viticulture”(FP7/2007-2013, grant agreement nº FP7-311775). Two deficit irrigation treatments are compared: SDI (*Sustainable Deficit Irrigation*) corresponding to 80% evapotranspiration and RDI (*Regulated Deficit Irrigation*) representing 50% of the water applied in SDI. Throughout the growing season the SDI vines presented higher values of leaf water potential, photosynthesis and stomatal conductance, relatively to the RDI ones. The results indicated that the irrigation strategy influenced the physiological behavior, suggesting that in this trial the variety “Touriga Nacional” has a high control over the stomata aperture in water stress conditions. It was further observed that the vines subject to RDI exhibited better intrinsic water use efficiency throughout the season. It was found a high water stress recovery capacity from the vine in terms of photosynthesis and stomatal conductance. While the SDI treatment showed a higher leaf area than RDI, no significant differences were detected on yield. With the exception of a higher pH on SDI no other significant differences were detected on berry composition.

Keywords: Deficit irrigation, Vine, Water relations, Water deficit, Vegetative growth, Yield.

EXTENDED SUMMARY

This work aims to compare the effects of two deficit irrigation treatments on physiology and productivity of the red variety “Touriga Nacional” and is included in the INNOVINE project (FP7/2007-2013, grant agreement nº FP7-311775), in the task 1 of work package 1 entitled “Effects of vineyard and practices of environment on grapevine physiology and berry quality in relation with climate change”. Two deficit irrigation treatments are compared: SDI (*Sustainable Deficit Irrigation*) corresponding to 80% evapotranspiration and RDI (*Regulated Deficit Irrigation*) representing 50% of the water applied in SDI.

Most part of precipitation (77%) occurred between January and March playing a determinant role in this trial, by maintaining a high soil water availability until flowering.

Throughout the growing season the vines with greater water availability (SDI), presented higher values of leaf area potential, photosynthesis and stomatal conductance, relatively to the RDI ones. However, in RDI vines showed higher intrinsic water use efficiency (WUE_i) than SDI. In general, the vines with more available water presented a higher stomatal conductance, but this does not mean that they performed better photosynthesis. The higher stomatal aperture essentially resulted in higher water loss through transpiration and consequently, resulting in a lower WUE_i .

It was observed a significant correlation between available soil water and predawn leaf water potential. It was also verified a significant correlation between predawn leaf water potential and stomatal conductance.

The different irrigation amount induced significant differences in the leaf area between the two irrigation treatments. The difference in leaf area was due to the higher growth of secondary leaves in SDI treatment as compared to RDI.

No significant differences were observed on all the others analyzed parameters relative to vegetative growth, canopy density, exposed leaf area, cluster number and yield. With the exception of a higher pH on SDI no other significant differences were detected on berry composition.

In sum, the RDI treatment, by applying half of the water volume applied in SDI, induced similar agronomical behaviour. However as this was only the first year of the trial, more seasons are needed to confirm the effects on berry composition and carry-over effects on fruitfulness and/or vine vigor.

Keywords: Deficit irrigation, Vine, Water relations, Water deficit, Vegetative growth, Yield.

Índice

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
EXTENDED SUMMARY.....	vii
LISTA DE QUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE ANEXOS	xiv
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xv
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1. Factores que influenciam as relações hídricas das videiras.....	3
1.1 Factores atmosféricos	3
1.2 Edáficos	5
1.3 Planta.....	7
1.4 Agronómicos	8
2. Efeito da disponibilidade hídrica nas diferentes fases do ciclo vegetativo	11
3. Rega deficitária controlada	14
4. Resposta momentânea da videira ao stress hídrico e posterior recuperação após reidratação	16
5. Indicadores do estado hídrico da videira.....	17
5.1 Potencial hídrico.....	17
5.2 Trocas gasosas.....	19
II. MATERIAL E MÉTODOS	21
1. Caracterização da parcela experimental	21
2. Caracterização edafo-climática da região	21
3. Material Vegetal.....	22
3.1 Touriga Nacional	22
3.2. Porta-enxerto 1103-Paulsen.....	23

4. Delineamento Experimental e Estatística	23
5. Operações culturais	24
6. Medições	24
6.1. Rendimento e suas componentes	24
6.2. Fenologia	24
6.3. Área foliar	25
6.4. Número de camadas de folhas	26
6.5 Superfície foliar exposta	26
6.6. Teor de água no solo	26
6.7. Potencial hídrico foliar e do caule	27
6.8. Trocas gasosas	28
6.9. Evolução na maturação	28
6.10. Vindima	28
III. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
1. Caracterização climática	29
1.1 Temperatura	29
1.2 Precipitação	29
2. Evolução da água no solo	30
3. Potencial hídrico	32
3.1 Potencial Hídrico Foliar de Base	32
3.2 Potencial hídrico do caule	34
3.3 Potencial hídrico foliar mínimo	35
4. Trocas gasosas	37
4.1 Evolução diurna da condutância estomática e taxa de assimilação líquida de CO ₂ em três fases distintas do ciclo biológico da videira	37
4.2 Influência da disponibilidade hídrica na condutância estomática e taxa de assimilação líquida de CO ₂	39
4.3 Eficiência intrínseca do uso da água	41
5. Relação entre potencial de base e disponibilidade hídrica no solo	41
6. Relação entre a disponibilidade hídrica no solo e a condutância estomática ..	42

7. Crescimento vegetativo	43
7.1 Área foliar	43
7.2 Dimensões da sebe e Superfície foliar exposta	45
7.3 Densidade do coberto vegetal	46
7.4 Vigor	47
7.5 Relações frutificação/vegetação	48
8. Produção	50
9. Composição dos bagos	50
IV. Conclusões	52
V. Bibliografia	55
ANEXOS	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características do porta-enxerto 1103-P (Mota e Garrido, 2001).....	23
Quadro 2 - Entradas de água no sistema solo, nas diferentes fases do ciclo vegetativo da videira, para os 2 tratamentos de rega (SDI e RDI).....	31
Quadro 3 - Dimensões do coberto e superfície foliar exposta (SFE), em dois períodos distintos nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). (níveis de significância: * 0,05; ** 0,01; *** 0,001).....	45
Quadro 4 – Parâmetros que caracterizam o coberto vegetal, em dois períodos distintos, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI).....	47
Quadro 5 – Parâmetros que caracterizam o vigor da videira nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI).	48
Quadro 6 – Parâmetros caracterizadores do equilíbrio vegetativo/reprodutivo.	49
Quadro 7 - Parâmetros caracterizadores da produção nos dois tratamentos de rega (RDI e SDI).	50
Quadro 8 – Parâmetros qualitativos dos bagos, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI).	51
Quadro 9 – Calendário de rega e respectiva dotação e data de aplicação em cada modalidade, precipitação (R), evapotranspiração de referência (ET_0), evapotranspiração de campo (ET_c) e coeficiente cultural (kp).....	68
Quadro 10 – Operações culturais na casta Toriga Nacional na Herdade do Esporão (Talhão015) durante o ciclo vegetativo de 2013.....	69
Quadro 11 – Escala fenológica BBCH para a videira	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estados hídricos óptimos (zonas em verde), desfavoráveis (zonas em amarelo) ou prejudiciais (zonas em vermelho) em função do período vegetativo da videira. Níveis de restrição hídrica expressos em MegaPascais (MPa) para o potencial hídrico foliar de base (Ψ_{PD}), potencial hídrico do caule (Ψ_c) e potencial hídrico foliar mínimo (Ψ_{MD}) (Ojeda, 2007)	19
Figura 2 - Caracterização climática da região entre 1973 e 2010: precipitação, temperatura máxima (Tmax), temperatura média (Tmed) e Temperatura mínima (Tmin).	22
Figura 3 - Exemplo de cacho e folha da Touriga Nacional.....	22
Figura 4 - Esquema do delineamento experimental do ensaio instalado na Herdade do Esporão, casta “Touriga Nacional”, Reguengos, 2013. (RDI – Regulated deficit Irrigacion; SDI – Sustainable Deficit Irrigation).	24
Figura 5 – Nervuras secundária esquerda (L2e) e direita (L2d) e nervura principal (L1)	25
Figura 6 - Normais dos valores da temperatura média do ar, e da precipitação média mensal da região (1973-2010). Temperatura média, máxima e mínima do ar e precipitação mensal (2013).	30
Figura 7 - Variação da fração de água transpirável no solo (FTSW), em %, na camada 0-90 cm, ao longo do ciclo vegetativo da videira, para os 2 tratamentos de rega (SDI e RDI).	31
Figura 8 - Evolução sazonal do potencial hídrico foliar de base (Ψ_{PD}), nos 2 tratamentos de rega (SDI e RDI). Média e respectivo erro padrão de 8 medições por modalidade.	33
Figura 9 – Evolução sazonal do potencial hídrico do caule (Ψ_s), nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Média e respectivo erro padrão de 4 medições por modalidade.	34
Figura 10 - Evolução sazonal do potencial hídrico foliar mínimo (Ψ_{MD}), nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Média e respectivo erro padrão de 4 medições por modalidade	36
Figura 11 – Evolução diurna da condutância estomática (g_s) e taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), em três fases distintas do ciclo vegetativo da videira, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Média e respectivo erro padrão de 4 medições por modalidade em cada hora.....	38
Figura 12 – Evolução diurna da condutância estomática (g_s) e taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), antes e após rega, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Média e respectivo erro padrão de 4 medições por modalidade.	40

Figura 13 – Evolução da eficiência intrínseca do uso da água (WUE_i), ao longo do ciclo vegetativo da videira, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Médias correspondentes às medições efectuadas às 14h e respectivo erro padrão de 4 medições por modalidade.....	41
Figura 14 – Regressão linear entre a fração de água transpirável (FTSW) – variável independente e o potencial hídrico foliar de base (Ψ_{PD}) – variável dependente, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Respectivas equações, coeficiente de determinação (R^2).....	42
Figura 15 - Regressão linear entre a fração de água transpirável (FTSW) – variável independente e a condutância estomática (g_s) – variável dependente, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Respectivas equações, coeficiente de determinação (R^2).....	42
Figura 16 – Área foliar principal (AFp), área foliar das netas (Afn), área foliar principal e % de área foliar por videira, em três períodos distintos, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Média dos registos efectuados por tratamento e respectivo erro padrão. Em cada período, as letras, quando diferentes, indicam que difere significativamente ($p<0,05$)......	43

LISTA DE ANEXOS

ANEXO I – Calendário de regas nas duas modalidades (SDI e RDI) na parcela de “Touriga Nacional” durante o ciclo vegetativo de 2013. Herdade do Esporão

ANEXO II - Operações culturais e tratamentos fitossanitários na parcela de “Touriga Nacional” no ciclo vegetativo de 2011. Herdade do Esporão

ANEXO III – Escala fenológica BBCH

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

A - taxa de assimilação líquida de CO₂
ABA - ácido abscísico
AF – área foliar
AFn – área foliar das netas
AFp – área foliar principal
AFT – área foliar total
CC – capacidade de campo
FTSW - fração de água transpirável no solo
FW – fresh weight
g_s – condutância estomática ao vapor de água
IRGA – “infrared gas analyzer”
NCF – número de camadas de folhas
PEP - “ponto de emurchimento permanente”
R – coeficiente de correlação
R² – coeficiente de determinação
RDI – regulated deficit irrigation
SDI – sustainable deficit irrigation
SFE – superfície foliar exposta
VPD – déficit pressão vapor
WUE_i - eficiência intrínseca de uso de água intrínseca
Ψ – potencial hídrico foliar
Ψ_{PD} - potencial hídrico foliar de base
Ψ_{MD} – potencial hídrico foliar mínimo
Ψ_S – potencial hídrico do caule

I. INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a actividade biológica. Nas plantas, além de ser o constituinte mais abundante dos órgãos lenhosos e herbáceos, assegura e condiciona algumas das mais importantes funções, tais como a transpiração e fotossíntese (Hidalgo, 2002; Huglin e Schneider, 1998). É também um meio de reacção química e de dissolução das substâncias gasosas e minerais e é essencial na manutenção da turgescência das células (condição fundamental ao funcionamento estomático e crescimento celular) (Spiegel-Roy e Bravdo, 1964). A água permite ainda a absorção e movimento das substâncias, entre as células, bem como de órgão para órgão através do xilema e floema (Prichard, 1992).

A videira (*Vitis vinifera*) não é excepção. Embora seja uma planta bastante rústica, com múltiplos mecanismos fisiológicos e vegetativos, que permitem, até certa extensão, a sua adaptação a um fornecimento limitado de água (Carrante, 1963; Grimes e Williams, 1990) o regime hídrico de uma vinha influencia fortemente o seu potencial produtivo e enológico (Koundouras et al., 1999; Van Leeuwen e Seguin, 1994, Van Leeuwen et al., 2003).

Contrariamente à maioria das culturas, a vinha geralmente é cultivada abaixo das suas condições agronómicas óptimas (Van Leeuwen et al., 2003). Noutras culturas as relações hídricas são na maioria das vezes abordadas no sentido em que se a uma maior disponibilidade hídrica corresponderá uma maior produtividade, então há que fornecer água, quando não é possível naturalmente para manter o conforto hídrico nas plantas. Em viticultura, mais concretamente na produção de uvas para vinho, os objectivos são mais complexos. É certo que a quantidade é importante, mas há que ter em conta outros factores como a composição dos bagos e o impacto que esta terá nos vinhos resultantes que podem ser parâmetros de avaliação de maior relevância (Matthews e Anderson, 1988). Considera-se que um regime hídrico moderadamente limitante induz, geralmente, efeitos benéficos sobre a qualidade dos vinhos produzidos (Van Leeuwen et al., 2003). Vários autores referem ainda que um stress hídrico moderado e progressivo favorece a acumulação de açúcares nos bagos, compostos fenólicos e antocianas e poderá diminuir a acidez (VanLeeuwen et al., 2003; Lopes, 2008)

A introdução da rega, como ferramenta para aumentar e/ou estabilizar, as flutuações anuais da produção, mantendo, contudo uma elevada qualidade das uvas, sem comprometer a perenidade das videiras, revela-se de uma importância extrema. Para o efeito, a rega deve ser controlada de modo a otimizar o balanço source/sink,

garantir um desenvolvimento vegetativo e reprodutivo apropriado e evitar um vigor excessivo (Chaves *et al.*, 2007).

No entanto, devido à diminuição da disponibilidade dos recursos hídricos (Somerville e Briscoe., 2001), a água é cada vez mais um bem a preservar sendo necessário fazer uma melhor gestão do uso da água. Esta melhoria da eficiência pode ser obtida através de novas tecnologias, novos métodos e modelos para que se torne possível praticar uma agricultura sustentável e assim fazer um uso eficiente da água. No entanto, as mais recentes projeções do “International Panel for Climate Change” (IPCC, 2007) indicam que a escassez de água, em conjunto com a incidência de altas temperaturas, vai aumentar num futuro próximo em algumas zonas do globo. Além disso, grande proporção das vinhas estão localizadas em regiões com seca sazonal (por exemplo, regiões com clima mediterrânico como no Alentejo) em que a elevada demanda atmosférica, conjugada com os défices de água no solo e com elevadas temperaturas, exercem grandes restrições no rendimento e qualidade.

Este trabalho tem como objectivo a comparação de diferentes dotações de rega deficitária na ecofisiologia e produtividade da casta Touriga Nacional e insere-se no âmbito do projecto INNOVINE (FP7/2007-2013), concretamente na tarefa 1 da work package 1 intitulada “Effects of vineyard practices and of environment on grapevine physiology and berry quality in relation with climate change”

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Factores que influenciam as relações hídricas das videiras

O “terroir” é um conceito que tem vindo a ser reconhecido como um importante factor na qualidade e estilo do vinho, particularmente nas vinhas europeias (Falcetti 1994). Este pode ser definido como um ecossistema interactivo, num determinado local, entre o clima, solo e a vinha (porta-enxerto e casta) (Seguin 1988). Factores humanos, como história e a importância sócio-económica da vinha e do vinho na região, assim como as técnicas de viticultura e enologia, fazem também parte do “terroir” (Seguin, 1986).

Este conceito é particularmente relevante ao nível do estado hídrico da videira, não apenas por a água ser um dos mais importantes elementos do “terroir” (Van Leeuwen e Seguin, 1994; Trambouze *et al.*, 1998; Koundouras *et al.*, 1999) mas também pela influência exercida por factores ambientais, genéticos, fisiológicos e humanos sobre as necessidades hídricas de uma vinha.

1.1 Factores atmosféricos

O clima como parte integrante do “terroir” (Seguin, 1986), desempenha um papel importante no crescimento da videira, na determinação do carácter do vinho e é globalmente aceite como sendo um dos principais factores a influenciar a qualidade do vinho (Carey, 2001; Roux, 2005). Van Leeuwen *et al.* (2004) consideram o clima como o principal diferenciador da produção de uma determinada região.

Os dados climáticos podem ainda ser determinantes na escolha das castas para um determinado local. Tradicionalmente, os viticultores europeus, têm em conta estes dados no momento de plantação de uma nova vinha, de modo a adaptar melhor as castas às condições climáticas do local. Por exemplo, castas que amadurecem naturalmente mais precocemente são plantadas em zonas de maior altitude, onde o clima é mais fresco, enquanto castas tardias são plantadas em zonas de baixa altitude, onde o clima é mais quente. Assim optimizam as hipóteses destas amadurecem correctamente e, conseqüentemente, darem origem melhores vinhos (Van Leewen & Saguin, 2006; Deloire, *et al.*, 2005).

Um dos parâmetros climáticos com maior influência no balanço hídrico da vinha é a precipitação (Van Leeuwen *et al.*, 2004; Myburgh, 2004; Tonietto e Carbonneau, 2004). Esta causa uma redução substancial na transpiração das videiras (Myburgh, 1998) que conseqüentemente reduz efectivamente a evapo-transpiração na vinha (Van Zyl, 1981) e conseqüentemente o balanço hídrico do solo. A sua intensidade e distribuição ao longo do ano, com variações inter-anuais irregulares, determinam a quantidade de água disponível de forma natural durante as diversas fases do ciclo anual da videira,

com grande impacto na produção e no estado fitossanitário da cultura (Ramos, 2005; Ramos e Martinez-Casasnovas, 2006). A carência de precipitações, associada a uma fraca capacidade de retenção do solo, limita a capacidade produtiva da videira, prejudicando o rendimento e a qualidade, contudo elevadas precipitações no Verão são igualmente nefastas, pois permitem a crescimento exagerado dos bagos provocando grande decréscimo na qualidade do mosto (Reynier, 1986). Nos climas mediterrânicos os valores mínimos anuais situam-se entre os 380 e os 550 mm e é geralmente escassa no período estival, tornando a videira mais dependente das reservas do solo e/ou de suplementos externos por via da rega (Carbonneau, 1998; Cuevas et al., 1998; Hidalgo, 2002). Em regiões com este tipo de clima, de modo a contrariar a escassez de água, culturalmente, é frequente manterem-se os níveis de produção e de área foliar baixos (Deloire *et al.*, 2005).

A temperatura é outro parâmetro climático com bastante incidência no balanço hídrico da videira. A temperatura afeta o déficit de pressão de vapor de água entre a folha e o ar indiretamente através de sua influência sobre a humidade relativa. Deste modo, afecta a taxa de perda de água e, por conseguinte, o gradiente de concentração de vapor a partir da folha para a atmosfera. Quanto maior for a diferença entre a humidade relativa da folha interna e a da atmosfera, maior é a taxa de transpiração (Krauter, 2001a; Wample, 2001). É conhecido o efeito que a transpiração tem na regulação da temperatura foliar (Wample, 2001). Tal facto faz da temperatura das folhas (ou da sebe completa) um indicador do estado hídrico da videira, estando nos últimos anos a ser estudada e desenvolvida tecnologia nesse sentido (Cifre *et al.*, 2005; Grant *et al.*, 2007).

A temperatura, influência também as maioria das funções da videira (Carey, 2001). O crescimento e desenvolvimento da videira e das uvas é dependente da temperatura, esta influencia a fotossíntese, os metabolismos dos ácidos e a formação de compostos responsáveis pelo aroma, cor e sabor das uvas (Hunter & Bonnardot, 2002). Gladstones (1992) reitera que para uma completa maturação fisiológica é fundamental existirem condições ideais para a fotossíntese, garantindo assim um fornecimento regular de açúcar para os cachos e permitindo os processos enzimáticos para a formação de aroma, cor e sabor, de modo a produzir uvas de qualidade. A gama de temperatura óptima para a fotossíntese é entre os 20 e os 25°C variando consoante a casta, fase do ciclo vegetativo e as condições do meio (Lopes, 1994; Huglin e Schneider, 1998). Greer *et al.*, 2012 considera que este intervalo óptimo situa-se entre 25 a 30 °C. Com valores externos a este intervalo existirá uma menor actividade fotossintética devido a limitações estomáticas e não estomáticas, que serão mais ou menos reversíveis, consoante a severidade do calor ou do frio (Flexas *et al.*, 1999;

Hendrickson *et al.*, 2004). A acumulação de antocianinas pode também ser afectada por este parâmetro, devido à inibição da síntese ou degradação das mesmas, em cachos expostos a temperaturas acima de 30 a 35 °C (Spayd *et al.*, 2002).

O papel da radiação solar na fotossíntese e no crescimento tem um impacto indirecto nas relações hídricas da videira, semelhante ao efeito da temperatura (Moutinho-Pereira, 2000).

O vento, ao influenciar as transferências de calor, de matéria e de energia por convecção, tem também um papel importante nas relações hídricas da planta (Lopes, 1994). A renovação da massa de ar em torno da sebe por acção do vento tem claras implicações no gradiente de potenciais hídricos do sistema solo-planta-atmosfera (Chavarria *et al.*, 2008). Ventos que transportem massas de ar mais quentes e secas diminuem a humidade do ar em torno da sebe, aumentando o gradiente de potencial hídrico entre as folhas e a atmosfera e consequentemente aumentando a taxa de transpiração (Krauter, 2001; Chavarria *et al.*, 2008). O inverso sucede quando a renovação do ar é feita por ventos mais frios e húmidos, reduzindo-se a condutância estomática e a transpiração, mas inevitavelmente diminuindo também a fotossíntese e o crescimento (Smart e Robinson, 1992).

1.2 Edáficos

A água utilizada pelas videiras é armazenada no solo, nomeadamente na zona das raízes (Krauter, 2001b). Por isso o solo, do ponto de vista hidrológico, é considerado como um “reservatório” de água que será disponibilizada às plantas, para repor a água perdida na transpiração, a um ritmo e quantidade que dependerá da capacidade de retenção de água do solo, da fracção dessa água que será de facto utilizável pela planta, do sistema radicular e das necessidades hídricas da planta (Krauter, 2001; Payan *et al.*, 2006).

A capacidade de retenção de um solo em particular é determinada fundamentalmente pela textura do mesmo, que depende do tamanho das partículas que o constituem. Um solo é geralmente constituído por uma mistura de partículas de diversas dimensões, designadamente partículas de maior calibre (areias), intermédio (limos) e menor (argilas), predominando sempre um destes. A água é geralmente encontrada no solo como uma camada ou como uma espécie de película na superfície das partículas. Isto apenas não é verdade após uma rega ou uma chuva abundante, em que a água ocupa todos os poros do solo, ficando este saturado. Quando a rega ou a chuva termina, a gravidade drena a água para as camadas inferiores, contudo permanece alguma nos poros (Krauter, 2001b). A água no centro dos poros sofre uma atracção electrostática por parte das partículas coloidais do solo formando a tal

película à sua superfície (Botelho-da-Costa, 1995). O processo de drenagem por força da gravidade pode durar algumas horas ou dias. Quando este processo finda, a água estará numa camada, onde cobre a superfície de todas as partículas do solo. Nesta fase diz-se que o solo se encontra à capacidade de campo (CC) (Krauter, 2001b).

No caso da água que se encontra mais afastada das partículas, essa força de atracção não conseguirá vencer a força da gravidade, perdendo-se em profundidade (Botelho-da-Costa, 1995). Solos com texturas mais finas são compostos por partículas de menor dimensão, logo os espaços entre elas serão também menores, retendo assim mais água após a drenagem gravitacional. A acumulação de água será maior, por oposição a um solo arenoso, em que rapidamente se esgotam os recursos hídricos (Krauter, 2001b).

Alguma, mas não toda a água retida na superfície das partículas, pode ser absorvida pelo sistema radicular das videiras. As raízes nos poros do solo irão remover a água mais afastada das partículas, onde a força de atracção das partículas é menor, reduzindo continuamente a espessura da película de água. Quanto mais fina fica esta película de água em volta das partículas, maior terá de ser a força de sucção por parte da planta. Eventualmente a película será tão fina que a planta não consegue absorver mais água. A esta condição do solo, em que existe água no solo, mas não é utilizável pela planta, chama-se “ponto de emurchimento permanente” (PEP) (Krauter, 2001b).

Um solo à capacidade de campo contém o máximo de água que consegue reservar por um longo período de tempo. Visto isto, considera-se que a diferença entre a CC e o PEP expressa a água utilizável pelas plantas (Hidalgo, 2002).

Apesar de solos de texturas mais finas reterem mais água como já foi referido anteriormente, poros demasiado pequenos e cheios de água limitam também a disponibilidade de oxigénio para a respiração das raízes. Sendo assim as texturas médias (solos francos) são aquelas que asseguram uma maior quantidade de água utilizável pelas plantas (Krauter, 2001b).

A profundidade do solo é outro factor importante, uma vez que definirá o volume potencial a ser explorado pela raiz. A profundidade da rizosfera é uma combinação entre as características genéticas da videira e as condições do solo, sendo mais condicionada pela última. Solos compactados ou com camadas impermeáveis inibirão o desenvolvimento radicular e o movimento da água (Liu et al., 1978; Doorenbos et al., 1986). Situações em que o sistema radicular se possa desenvolver livremente em profundidade, podendo encontrar água em camadas mais profundas, são particularmente benéficas para a resistência da videira à secura estival dos climas mediterrânicos (Carbonneau, 1998).

Deve-se ter uma gestão cuidadosa da rega numa vinha quando existe a possibilidade de problemas de drenagem. O defeituoso desenvolvimento da rizosfera também pode afetar o tamanho do reservatório do solo, quando os sistemas de micro-irrigação afetam o crescimento da raiz, devido à irrigação incompleta de todo o perfil do solo da vinha (Krauter, 2001b).

A par da textura e da profundidade, também a fertilidade do solo condiciona as necessidades hídricas da videira. Deficiências nutritivas poderão limitar a condutividade hidráulica das raízes, aumentando a susceptibilidade ao défice hídrico (Magalhaes, 2008).

1.3 Planta

A videira possui diferentes tipos de respostas morfológicas e fisiológicas resultantes da interacção entre as condições ambientais encontradas (nomeadamente a disponibilidade hídrica) e a informação contida nos seus genótipos (Pastori e Foyer, 2002).

Uma das primeiras respostas da videira à seca é a redução da condutância estomática (g_s) associada a uma optimização da eficiência intrínseca do uso da água (razão entre a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) e a condutância estomática), um indicador a longo prazo, da regulação da assimilação de carbono em condições de seca (Bota *et al.*, 2001; Cifre *et al.*, 2005). Em várias castas foram também relatadas modificações das suas características morfológicas e anatómicas para se adaptarem ao défice hídrico, como alterações na área foliar (Gómez del Campo *et al.*, 2003), razão raiz/parte aérea (Toumi *et al.*, 2007) e o tamanho dos vasos do xilema e condutividade (Lovisolo e Schubert, 1998).

No entanto, grande parte da susceptibilidade das videiras à carência hídrica é determinada a nível radicular. A absorção de água e minerais pelas raízes e o seu envolvimento na regulação estomática fazem do porta-enxerto um elemento chave na definição do estado hídrico da videira, com impacto não apenas nas entradas e saídas de água da planta, mas também em outros processos fundamentais como a fotossíntese, o crescimento de lançamentos e folhas e a própria produção (Iacono *et al.*, 1998; Paranychianakis *et al.*, 2004). Tal como na parte aérea, existem ao nível do sistema radicular características morfológicas e fisiológicas que influenciam o estado hídrico e as trocas gasosas da planta (Iacono *et al.*, 1998; Candolfi-Vasconcelos *et al.*, 1994). Algumas destas características permitem uma melhor gestão da água disponível, tais como sistemas radiculares carnudos, mais expandidos e profundos, com vasos lenhosos pequenos e baixa condutibilidade hídrica (Hsiao e Xu, 2000).

O genótipo do porta-enxerto tem uma grande influência sobre a densidade do sistema radicular (Williams e Smith , 1991). No entanto, a distribuição das raízes da videira é do mesmo modo significativamente dependente das condições edáficas (Smart *et al.*, 2006.) e do espaçamento da vinha (Archer e Strauss , 1985). O crescimento das raízes da videira depende da interação de um determinado genótipo de um porta-enxerto com o meio ambiente, ou seja, a sua adequação aos factores do solo, como textura e densidade do solo (Morlat e Jacquet, 2003), da água e disponibilidade de azoto (Van Zyl , 1988), pH (Conradie, 1988) e salinidade (Southey e Archer, 1988).

O crescimento radicular está ainda coordenado com o crescimento da parte aérea da planta, quer pelo seu relacionamento morfológico e fisiológico, quer pela competição entre ambas as partes pelos assimilados produzidos nas folhas, pela água e pelos minerais absorvidos pelas raízes (Hsiao e Xu, 2000). Uma menor razão tronco/raízes permitirá uma maior exploração do volume de solo com menos perdas de água por transpiração (Fregoni, 1999). Pode depreender-se que, não apenas a casta e o porta-enxerto individualmente, mas também as suas múltiplas combinações tenham respostas diferentes à humidade do solo, facto referido e estudado por vários autores (Iacono *et al.*, 1998; Paranychianakis *et al.*, 2004). Um mesmo porta-enxerto pode ter diferentes níveis de resposta hídrica consoante a casta que lhe está associada e vice-versa (Iacono *et al.*, 1998).

Por isso, com vista a melhorar a adaptação das videiras às condições de seca, a seleção do porta-enxerto poderá ser um meio alternativo para controlar a resposta da vinha ao stress hídrico. Para isso, existem rankings de porta-enxertos comerciais com relação à sua tolerância à seca, criados com base em estudos realizados em videiras em vaso (Carbonneau, 1985) ou em espécie *Vitis* não enxertadas (Padget-Johnson *et al.*, 2003). Contudo existe ainda um conhecimento limitado sobre a adaptação pedoclimática das diversas combinações garfo-porta-enxerto no campo, especialmente sob condições de seca (Koundouras *et al.*, 2008).

1.4 Agronómicos

Os factores naturais como o ambiente e a própria planta são os principais responsáveis pelo estado hídrico das videiras, no entanto, há que ter em conta a intervenção humana na vinha. As práticas culturais e as decisões tomadas pelos viticultores com vista a atingir os objectivos produtivos, tendem a influenciar o regime hídrico das videiras e a eficiência do uso da água disponível (Krauter, 2001b).

Esponaneamente, a rega surge como a mais evidente, contudo existem diversas práticas culturais com forte influência nas relações hídricas da planta. Gaudillere *et al.*

(2002) refere que, embora o défice hídrico em viticultura de sequeiro não possa ser controlado de uma forma tão directa como em regadio, existem várias práticas culturais que permitem, até determinada extensão, adequar as necessidades hídricas das videiras as condições ambientais a que estão sujeitas.

Antes de se plantar uma nova vinha há que ter em conta a densidade de plantação, visto que esta influencia o balanço hídrico da vinha. Quando se planta um maior número de videiras por unidade de área, o volume de solo disponível por videira será menor o que, segundo Huglin e Schneider (1998), leva a um desenvolvimento radicular mais denso e vertical no solo, com uma maior exploração das camadas mais profundas, opinião igualmente apoiada pelo trabalho de Yuste *et al.* (2007). Wample (2001) observou ainda uma diminuição das perdas de água por transpiração por videira e um aumento da eficiência do uso da água em vinhas com maior densidade de plantação como resultado do efeito de sombra que os copados exercem uns sobre os outros, diminuindo o número de folhas expostas directamente e a uma atmosfera com humidade relativa mais baixa. Yuste *et al.* (2007), analisando a questão não por videira mas por hectare, verificaram que a situação se inverte, ou seja, nas densidades de plantação mais elevadas, apesar de individualmente as videiras apresentarem uma menor expressão vegetativa, por hectare existe uma maior superfície foliar total e uma maior superfície foliar externa, conduzindo na prática a uma maior perda de água por transpiração. No entanto, há que ter também em consideração a contribuição da evaporação do solo no consumo de água de uma vinha. Um solo com uma menor densidade de plantação, logo com menor sombreamento por parte das videiras, está mais sujeito a incidência de radiação solar directa, acrescentando as perdas de água por evaporação do solo (Yunusa *et al.*, 1997; Yuste, 2007).

A escolha do sistema de condução também influencia as relações hídricas da videira. Um sistema com maior expansão vegetativa e mais produtivo terá maiores exigências hídricas, uma vez que será necessária mais água para produzir uma maior quantidade de matéria seca (Fregoni, 1999; Moutinho-Pereira, 2000; Hidalgo, 2002; Yuste, 2007). Por outro lado, tal como acontece relativamente à densidade de plantação, apesar de um sistema de condução com uma maior área foliar ter à partida uma maior exigência de água e maiores perdas por transpiração, o efeito de sombreamento que exerce sobre o solo diminuirá as perdas por evaporação do solo. Os gastos globais de água do solo podem na verdade ser semelhantes, embora com variações, em função da área foliar, das proporções de evaporação e de transpiração no conjunto das perdas de água (Yunusa *et al.*, 1997). Todavia, para Williams (2001) não é a área foliar total que determina as necessidades hídricas da videira, mas antes a superfície foliar exposta. Sistemas de condução que mantenham mais folhas

expostas durante as horas de radiação solar mais intensa implicam taxas mais altas de transpiração (Wample 2001; Yuste, 2007). Lopes (1994) verificou que a menor superfície foliar exposta de videiras conduzidas em Guyot, comparativamente com a condução em Royat, resultava em Ψ de base menos negativos e consequentemente um melhor desempenho fotossintético ao longo do dia. Independentemente das diferentes justificações, existe um consenso quanto à importância do sistema de condução no estado hídrico da videira.

A fertilização do solo é outra prática cultural com importância nas relações hídricas da videira. Como já foi referido anteriormente, deficiências nutritivas poderão limitar a condutividade hidráulica das raízes, aumentando a susceptibilidade ao défice hídrico (Magalhaes, 2008, Hidalgo, 2002). Carências de cálcio, e magnésio poderão resultar na debilitação das membranas celulares, enquanto que elementos químicos como o alumínio, cobalto, molibdénio, cobre, manganês, zinco e boro são referidos como benéficos para a resistência a situações de seca. O potássio é por sua vez um ião muito importante para a regulação osmótica e consequente mecanismo de abertura e fecho dos estomas (Hidalgo, 2002).

São usadas diferentes técnicas de manutenção do solo consoante as regiões e as diferentes preocupações sobre os recursos hídricos. Por exemplo, em regiões áridas, estabelecer uma cobertura vegetal pode ser difícil ou arriscado, por isso os solos na vinha estão muitas vezes sem qualquer cobertura (Skinkis, 2013). Uma técnica passível de ser utilizada nestas regiões poderá ser a aplicação superficial de gesso natural (84% CaSO_4), como Wheaton *et al.* (2008) verificaram numa vinha em Victoria, Austrália, que conduziu a uma melhoria das propriedades físicas e hidrológicas de um solo maioritariamente franco-arenoso, com pH entre 6 e 7, e do desenvolvimento vertical das raízes.

No entanto a utilização de coberturas vegetais tem prosperado em viticultura e entre as vantagens referidas encontram-se melhorias assinaláveis na gestão da água, através, sobretudo de um aumento da infiltração de água no solo (Wheaton *et al.*, 2008). Os mesmos autores registaram efeitos positivos ao nível da macroporosidade do solo, com melhorias na capacidade de armazenamento e transporte de água no solo e no desenvolvimento vertical das raízes. Monteiro e Lopes (2007) já tinham observado comportamentos radiculares idênticos, atribuindo-os ao consumo de água nas camadas superiores do solo por parte da cobertura vegetal, o que induziria a morte das raízes mais superficiais e consequentemente ao desenvolvimento de um sistema radicular capaz de explorar as camadas mais profundas. Os mesmos autores verificaram também os benefícios de um solo “coberto” na redução das perdas de água por evaporação. Outra vantagem nesta técnica reside em evitar o escoamento

superficial de água, especialmente durante eventos de chuva. Em anos muito chuvosos ou regiões com abundância de água, o enrelvamento pode ainda ser utilizado para controlar excesso de água, ou para reduzir vigor da vinha ao competir pela água e nutrientes (Skinkis, 2013). No entanto, consoante o local onde se situa a vinha, as espécies de enrelvamento devem ser cuidadosamente selecionadas, tendo em conta os objectivos/necessidades do viticultor na gestão água do solo (Skinkis, 2013).

A rega é uma das técnicas que mais interfere nas relações hídricas da videira e consequentemente no seu estado hídrico (Bartolomé, 1993). Através da rega é possível gerir o défice hídrico tolerado pela videira, de modo a obter produções de qualidade (Pacheco *et al.*, 2008). Por isso, em regiões com seca sazonal (ex: clima Mediterrânico), os viticultores, cada vez mais têm que recorrer a esta técnica para estabilizar as produções e melhorar a qualidade do vinho (Schultz, 2000). No entanto, água aplicada em excesso pode resultar em vinhos desequilibrados e de baixa qualidade (Matthews *et al.*, 1990; Esteban *et al.*, 2001). A chave para melhorar a qualidade das uvas para vinho, em vinhas regadas, é alcançar um equilíbrio adequado entre o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da videira (McCarthy, 1997). A rega será um assunto abordado posteriormente no ponto 3.

2. Efeito da disponibilidade hídrica nas diferentes fases do ciclo vegetativo

Ao longo do ciclo vegetativo da videira existem momentos chave em que é imprescindível uma disponibilidade de água adequada para se atingirem os objectivos de produção (Matthews *et al.*, 1990; Koundouras *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2007)

Geralmente, em climas mediterrânicos, as reservas de água no solo na primeira fase de crescimento da videira (abrolhamento – floração) são suficientes para o desenvolvimento normal da videira (Wample, 2001). Uma eventual carência hídrica induziria a um abrolhamento irregular, pânpanos curtos, uma menor diferenciação floral e à produção de menos cachos e de menor tamanho (Myurgh, 2003). No entanto um excesso de água é da mesma forma prejudicial, pois potenciaria a continuação do crescimento vegetativo em vez da sua desaceleração para que ocorra a floração, atrasando assim as fases fenológicas seguintes, incluindo a maturação (Hidalgo, 2002).

O período entre a floração e o vingamento é bastante importante, com impacto directo na quantidade de uvas obtidas no final da campanha (Kliewer *et al.*, 1983; Matthews e Anderson, 1988). A ocorrência de um stress hídrico severo nesta fase atrasa o desenvolvimento da flor e leva a um vingamento deficiente (desavinho e bagoinha), com menor produção de bagos e de menor dimensão ((Kliewer *et al.*, 1983;

Becker e Zimmermann, 1984; Myburgh, 2003). No extremo oposto, um excesso de água também é prejudicial, ao privilegiar o crescimento vegetativo e desviar para os ápices vegetativos a fracção de fotoassimilados que estaria destinada aos fenómenos reprodutivos, potenciando, tal como na situação de défice severo, a ocorrência de desavinho e bagoinha (Magalhães, 2008). A situação ideal para esta fase parece estar num stress hídrico moderado que possibilite a paragem vegetativa, privilegiando os fenómenos reprodutivos e podendo assim resultar uma maior produção (Carbonneau e Casteran, 1979; Myburgh, 2003). O impacto deste período na produção não se fica apenas pelo ano em curso, afectando também a produção do ano seguinte, uma vez que é também nesta fase que ocorre a iniciação floral para o ano seguinte (Carbonneau e Casteran, 1979)

Após o vingamento, inicia-se a fase de crescimento vegetativo e dos bagos até ao pintor. Nesta fase, a videira atingirá desejavelmente o seu máximo de área foliar. Trata-se por isso do período de maior exigência e consumo de água (Hidalgo, 2002; Magalhães, 2008). Mais uma vez, défice hídrico severo nesta fase teria graves consequências no desenvolvimento da folhagem e na colheita, conduzindo a um menor tamanho dos bagos, e provocando um atraso da maturação e uma desidratação parcial ou total dos cachos (Wample, 2001; Myburgh, 2003). Vários autores sugerem que, neste período, é favorável estabelecer condições de stress hídrico moderado nas videiras, de modo a produzir uvas com elevado potencial enológico. O stress hídrico moderado antes do pintor reduz o tamanho do bago e abranda marcadamente o crescimento vegetativo (Magalhães, 2008; Gurovich e Vergara, 2005; Ferreyra *et al.*, 2002), permitindo uma maior radiação solar através do copado (Shellie, 2006) e aumentando a relação película-polpa do bago (Ferreyra *et al.*, 2002). Esta diminuição do crescimento vegetativo permite, muitas vezes, uma paragem do crescimento dos lançamentos ao pintor (Magalhães, 2008). Esta desejável paragem ao pintor faz dos bagos os receptores prioritários dos fotoassimilados, evitando assim os atrasos na maturação que resultam da continuação do crescimento vegetativo nesta fase (Castellarin *et al.*, 2007).

O efeito do défice hídrico moderado, imposto antes do pintor, não permite a recuperação do tamanho potencial do bago à vindima, mesmo quando a disponibilidade hídrica não é limitada após o pintor (Gurovich e Vergara, 2005). Vários autores consideram o período antes do pintor como o mais sensível, em termos de rendimento, ao stress hídrico (Matthews *et al.*, 1990; Myburgh, 2003). Segundo Matthews e Anderson (1989), apesar do défice hídrico ser geralmente mais acentuado no final da estação, o rendimento parece depender mais da disponibilidade hídrica antes do pintor. No entanto, a diminuição do tamanho do bago faz igualmente com que

aumento o seu teor em sólidos solúveis (Gurovich e Vergara, 2005). Santesteban *et al.* (2011) encontraram teores de compostos fenólicos mais elevados nos bagos, em videiras impostas ao stress hídrico antes do pintor. Por isso, qualquer redução na produção, pode potencialmente ser compensada na melhoria da qualidade das uvas e consequentemente do vinho.

A seguir decorre o período da maturação em que se formam os compostos que mais influenciam a qualidade das uvas e consequentemente do vinho. Logo, as condições durante a maturação, bem como a sua duração, terão um grande impacto na qualidade das uvas (Hidalgo, 2002; Ferreyra *et al.*, 2002). No caso de existir um excesso de água neste período, poderá resultar na continuação do crescimento vegetativo, o que irá fazer com que os fotoassimilados que estariam destinados aos bagos sejam desviados, além disso, aumentará em demasia a área foliar, o que pode provocar um sombreamento excessivo nos cachos. Tal poderá conduzir a atrasos de maturação ou mesmo maturações incompletas (Doorenbos, 1986; Lopes, 1994; Ferreyra *et al.*, 2002; Koundouras *et al.*, 2006). Poderá também originar uma maior incidência de problemas fitossanitários, dado o menor arejamento que existirá na zona dos cachos (Doorenbos, 1986).

No extremo oposto, um stress hídrico severo após o pintor faz com que ocorra uma diminuição da taxa fotossintética e da própria superfície fotossintetizante, devido à senescência prematura e queda das folhas da base dos lançamentos. Logo, o processo de acumulação de fotoassimilados é afectado, e semelhantemente à situação de excesso de água, origina atrasos na maturação ou maturações incompletas (Doorenbos, 1986; Lopes, 1994; Wample, 2001). Devido à diminuição da área foliar, os cachos poderão ficar demasiado expostos à radiação solar, podendo resultar em escaldões ou no emurchimento dos bagos e consequente excessiva concentração de compostos solúveis, que resulta em mostos desequilibrados, com Brix elevado e baixa acidez (Doorenbos, 1986). Mais uma vez o ideal é manter as videiras sujeitas a um défice hídrico moderado (Ferreyra *et al.*, 2002).

Um stress hídrico moderado após o pintor diminui o tamanho dos bagos, aumentando a concentração de sólidos solúveis (Gurovich e Vergara, 2005), melhorando a relação película/polpa, coerente com uma melhoria da qualidade, ao nível de compostos como os açúcares, aromas e compostos fenólicos (Kliewer *et al.*, 1983; Doorenbos, 1986; Van Leeuwen e Seguin, 1994; Ferreyra *et al.*, 2002). As concentrações de compostos fenólicos e antocianas podem aumentar consideravelmente com o stress hídrico moderado durante a maturação (Gurovich e Vergara, 2005; Ferreyra *et al.*, 2002). Contudo, um stress severo reduz a acumulação de solutos nos bagos, por diminuição da eficiência da translocação de fotoassimilados,

devido à cavitação e embolismo parcial dos tecidos xilémicos do pedúnculo do bago (Becker e Zimmermann, 1984). Por isso, como foi referido, deve-se ter cuidado com a intensidade e duração de stress que se impõe às videiras após o pintor.

Depois da vindima, normalmente não há crescimento vegetativo, algumas folhas permanecem e os lançamentos estão atempados, logo é benéfico que haja alguma água disponível para manter a folhagem saudável e prevenir a queda prematura das mesmas (Doorenbos *et al.*, 1986), visto que o prolongamento da actividade fotossintética aumentará a acumulação de reservas de hidratos de carbono e azoto nas partes perenes das videiras (Hidalgo, 2002). Uma carência hídrica durante este período pode afectar também a renovação e crescimento das raízes e, conseqüentemente, a absorção de nutrientes, podendo resultar em carências nutritivas na Primavera seguinte (Wample, 2001; Hidalgo, 2002; Gurovich e Vergara, 2005).

3. Rega deficitária controlada

Como se tem vindo a referir nos pontos anteriores, a videira é uma planta com necessidades hídricas particulares, em que a gestão de um défice hídrico moderado em períodos chave do ciclo vegetativo surge como a melhor solução para obter produções de qualidade (Koundouras *et al.*, 1999; Gurovich e Vergara, 2005; Ferreyra *et al.*, 2002; VanLeeuwen *et al.*, 2003). A rega pode então ser uma ferramenta útil de controlo e gestão do estado hídrico das videiras em função dos objectivos de produção. Porém, a água é um recurso limitado e que se poderá tornar cada vez mais escasso no futuro, face às actuais previsões de evolução climática (Payan *et al.*, 2008). Por isso, tendo em conta o imprescindível uso da rega para obter boas uvas e vinhos, mas através da utilização do menor consumo de água possível, surgem novas técnicas de rega, como alternativa à rega convencional, nomeadamente a rega parcial das raízes (PRD – “Partial Root Drying”) e a rega deficitária controlada (RDI – “Regulated Deficit Irrigation”).

Na PRD são utilizados dois tubos de rega, em que metade do sistema radicular é regado por um determinado período, enquanto a outra metade vai secando gradualmente, alternando os lados do sistema radicular ao fim desse mesmo período. Esta técnica de irrigação estimula algumas das respostas associadas ao stress hídrico, através da parte não regada da raiz, tais como redução do vigor e da condutância estomática (g_s), e simultaneamente garantir um estado hídrico adequado através do contacto de parte do sistema radicular com solo humedecido (Keller, 2005; Santos *et al.*, 2003). Os benefícios desta técnica passam pela possibilidade de fornecer uma quantidade reduzida de água de rega, com o potencial de reduzir o crescimento vegetativo e melhorar a qualidade dos bagos sem causar perdas de

produção (Dry and Loveys 1998; Santos *et al.* 2007). Santos *et al.* (2007) referem ganhos ao nível da composição fenólica e do potencial aromático em videiras sujeitas a PRD. Uma outra característica constante em vários ensaios realizados tem sido que, embora a quantidade de rega tenha sido reduzida pela metade, não houve redução significativa no rendimento devido ao tratamento PRD, contrariamente com o que acontece com RDI (Dry *et al.*, 2001).

No entanto, existem também trabalhos a não assinalarem diferenças entre esta estratégia e a rega gota-a-gota convencionais (Santos *et al.* 2003; Intrigliolo and Castel 2009). Estas aparentes contradições podem ser relacionadas com as diferenças na intensidade da sinalização química sob irrigação PRD que parece ser ditada pelo tipo de solo, a precipitação prevalente e a demanda de evaporação na região, bem como a frequência de interrupção de irrigação a partir de um lado da zona radicular para o outro (Dry *et al.* 2001; Chaves *et al.* 2007). Diferenças de genótipo ao nível da sensibilidade dos estomas ao stress hídrico ou no transporte de ABA (ácido abscísico) do porta-enxerto, podem também explicar resultados diferentes (De la Hera *et al.*, 2007). Intrigliolo e Castel (2009) desaconselham mesmo o PRD dados os custos de instalação acrescidos que implicam.

RDI consiste em induzir um défice hídrico moderado em determinadas fases do ciclo vegetativo das videiras, através da redução ou supressão o fornecimento de água da rega (Prichard, 2003; Dry, 2005; Keller, 2005). A intensidade deve ser diferenciada em função dos objectivos pretendidos (Prichard, 2003; Dry, 2005). Deste modo, pretende-se controlar o desenvolvimento vegetativo (Gurovich e Vergara, 2005; Kridemann e Goodwin, 2003), melhorar a eficiência de uso da água (Kridemann e Goodwin, 2003), otimizar o tamanho do bago e com isso a qualidade através de um possível aumento da concentração de alguns compostos nobres que se encontram maioritariamente na película (Gurovich e Vergara, 2005). A frequência de rega pode ser determinada pela detecção ou predição de um determinado potencial hídrico da planta (Kridemann e Goodwin, 2003).

RDI utiliza o stress hídrico moderado para obtenção dos objectivos pré-definidos e, como tal, o conhecimento da disponibilidade hídrica do solo é um ponto crítico da aplicação desta técnica, de modo a assegurar que não se impõe um stress hídrico excessivo sobre a videira (Dry, 2005). Os efeitos do RDI são determinados pela oportunidade (estádio fenológico em que se induzem condições de stress hídrico) e intensidade (níveis de stress hídricos impostos e sua duração) do stress hídrico controlado, que permitirão determinar uma estratégia óptima de acordo com os objectivos desejados (Gurovich e Vergara, 2005).

4. Resposta momentânea da videira ao stress hídrico e posterior recuperação após reidratação

É do conhecimento geral que as plantas que experimentam stress hídrico sofrem alterações morfológicas e fisiológicas. Schultz e Matthews (1988) já haviam demonstrado que a condutividade hidráulica nos sarmentos da videira diminuía quando a água no solo se esgotava. Mais recentemente, Bondada *et al.* (2012) verificaram que tal diminuição da condutividade hidráulica, em plantas sujeitas e elevado stress hídrico, manifestou-se através de modificações morfofisiológicas, tais como na desidratação do ápice dos sarmentos e posterior abscisão do mesmo, folhas com aparência murcha, gavinhas a inclinarem-se para baixo, que depois ficam desidratadas e por fim ficam com tonalidade castanha. Ao contrário as plantas bem hidratadas apresentam folhas túrgidas, gavinhas apontadas para cima e a crescerem de tal forma que superam as pontas dos lançamentos, assim como exibem folhas primordiais e jovens gavinhas. Estas modificações devem-se a alterações bioquímicas, nomeadamente na acumulação de ABA (ácido abscísico), ocorrendo provavelmente no xilema do pecíolo e folha (Rodrigues *et al.*, 2008). Elevadas concentrações de ABA resultam na diminuição da condutância estomática, demonstrado pelas correlações entre a condutância estomática e a ABA presente no xilema e nos tecidos foliares (Lovisol *et al.*, 2002). Considera-se até que uma das primeiras reacções da planta a uma situação de baixa disponibilidade hídrica consiste na diminuição da abertura estomática (Cifre *et al.*, 2005). Ao nível dos cachos, na fase pré-pintor, os bagos respondem ao stress hídrico através do enrugamento do exocarpo, que resulta em bagos de aparência murcha (Bondada *et al.*, 2012). Após o pintor (maturação) os bagos mantêm a integridade do pericarpo, mas em casos de elevado stress hídrico, tomam aparência murcha devido à desidratação (Bondada *et al.*, 2012).

Após a reidratação as folhas recuperam ao nível anatómico e fisiológico. Fisiologicamente, nomeadamente, a condutância estomática e o potencial hídrico foliar recuperam para valores semelhantes aos encontrados em videiras bem irrigadas (Bondada *et al.*, 2012). A fotossíntese, que devido à elevada correlação que tem com a condutância estomática (Wong, 1979) também diminui em eventos de stress hídrico, recuperando igualmente após a reidratação. As folhas recuperam também a aparência túrgida (Bondada *et al.*, 2012). Os ápices após a sua abscisão, já não recuperam e o lançamento não cresce mais, promovendo o crescimento dos lançamentos laterais. Os bagos são mais sensíveis ao stress antes do pintor, mas em ambas as fases (antes e após pintor) após a reidratação também recuperam a aparência túrgida (Bondada *et al.*, 2012).

No entanto há que ter em conta que a maioria destes efeitos são momentâneos e se a planta sofrer stress hídrico severo durante muito tempo, alguns podem ser irreversíveis, como por exemplo, a queda de folhas ou escaldão dos bagos.

5. Indicadores do estado hídrico da videira

5.1 Potencial hídrico

A medição do potencial hídrico foliar (Ψ) através do recurso à câmara de pressão (Scholander *et al.*, 1965) é por muitos considerado o método de referência de monitorização do estado hídrico de uma vinha (Chone *et al.*, 2001; Ferreyra *et al.* 2002; Deloire *et al.* 2005; Baeza *et al.*, 2007). Este método consiste em cortar uma folha pelo pecíolo e submetê-la, no interior de uma câmara estanque, a uma pressão crescente (por injeção de azoto) até se observar a saída de seiva pelo corte. A pressão (em -MPa) registada no manómetro da câmara nesse momento corresponde ao Ψ . Quanto menos água livre existir na planta, em resultado de uma menor disponibilidade hídrica, maior será a pressão necessária para provocar a sua saída pelo pecíolo, ou seja, mais negativo será o Ψ (Deloire *et al.*, 2005). As medições na câmara de pressão podem fornecer valores de potencial foliar hídrico de base (Ψ_{PD}), potencial hídrico do caule (Ψ_S) e o potencial foliar hídrico diurno (Choné *et al.*, 2001).

O Ψ_{PD} é medido antes de amanhecer, quando os estomas estão fechados, assumindo-se assim que o potencial hídrico da planta estará em equilíbrio com o potencial hídrico do solo na zona de absorção radicular (Choné *et al.*, 2001). Vários autores consideram que este facto, conjugado de uma boa correspondência com a taxa fotossintética em condições de défice hídrico, fazem do Ψ_{PD} um bom indicador do estado hídrico da videira (Carbonneau, 1998; Choné *et al.*, 2001). É neste período do dia, antes de amanhecer, que se obtêm os valores menos negativos (Deloire *et al.*, 2005).

Neste estudo, no potencial foliar hídrico diurno, apenas foi considerada a medição do potencial foliar hídrico mínimo (Ψ_{MD}) ao meio dia solar. A medição a esta hora, quando há regulação estomática e a planta está em plena actividade (transpiração, fotossíntese, etc.), em folhas expostas, tem como o objectivo indicar o potencial mínimo de água na folha experimentado pela planta durante o dia (Van Leeuwen *et al.* 2009). Este método pode ser o mais prático para os produtores implementarem devido ao seu procedimento simples, rápido e pelo facto de poder ser feito durante o horário normal de trabalho. No entanto, devido ao comportamento isohídrico de algumas castas, este método nem sempre reflete o verdadeiro estado hídrico da planta (Lovisol *et al.* 2010; Chaves *et al.* 2010).

O comportamento isohídrico caracteriza-se por um forte controlo estomático da transpiração, resultando na observação de valores de potencial mínimo similares entre plantas em stress e em conforto hídrico (Tardieu e Simonneau, 1998). Apenas em situações extremas de stress a videira perde esta capacidade de controlo, provocando uma queda no potencial mínimo (Medrano *et al.*, 2003). Em plantas com comportamento anisohídrico, devido ao fraco controlo estomático, a variação temporal diária do potencial hídrico foliar, em consequência de um aumento da demanda evaporativa da atmosfera, é similar em plantas em stress e em conforto, pelo que as diferenças no potencial foliar entre plantas com diferentes níveis de abastecimento em água se mantêm constantes ao longo do dia (Tardieu e Simonneau, 1998).

A evolução do potencial hídrico foliar ao longo do dia resulta, não só da disponibilidade em água no solo, mas também das condições meteorológicas que determinam o poder evaporativo da atmosfera, da condutividade hidráulica interna das plantas e do controlo estomático (Choné *et al.*, 2001 Medrano *et al.* 2007) referem que nem sempre existe uma correspondência entre o Ψ medido ao meio-dia solar e a condutância estomática, podendo-se observar valores semelhantes de Ψ_{MD} face a níveis diferentes de carência hídrica.

Outro método, o potencial hídrico do caule, tal como no Ψ_{MD} , neste estudo é medido ao meio dia solar, mas em folhas tapadas cerca de duas horas antes (com bolsas de plástico cobertas por papel de alumínio) para assim interromper a transpiração e fazer com que a folha entre em equilíbrio com xilema do caule (Deloire *et al.*, 2005). O Ψ_s indica a capacidade da videira para conduzir água do solo para a atmosfera (Choné *et al.*, 2001). A medição do Ψ_s apresenta uma maior sensibilidade às variações de disponibilidade hídrica relativamente ao Ψ diurno, fruto da boa correlação encontrada com a transpiração (Choné *et al.*, 2001; Ferreyra *et al.* 2002; Deloire *et al.*, 2005). Esta tem sido também bem correlacionada com outros indicadores de stress hídrico como o abrandamento do crescimento vegetal e o peso dos bagos (Van Leeuwen *et al.* 2009). No entanto o Ψ_s é também dependente das condições atmosféricas, nomeadamente da radiação, temperatura e o défice de pressão vapor (VPD) (Santesban *et al.*, 2011). Williams e Baeza (2007) verificaram que o Ψ_s varia em função da temperatura ambiente e do VPD no momento da medição, em vinhas em conforto hídrico. No entanto, em vinhas com stress hídrico o VPD terá menor influência na variação do Ψ_s (Williams e Trout 2005; Santesban *et al.*, 2011). No estudo realizado por Santesban *et al.* (2011), observaram que a temperatura do ar era mais influente que o VPD e a evapotranspiração ao meio-dia. Segundo os mesmos autores a quantidade de cachos e a área foliar também influenciam o Ψ_s .

É difícil estabelecer a partir de que valor de potencial hídrico diminui a fotossíntese, uma vez que varia consoante o local, a história da planta em ciclos precedentes, as condições ambientais actuais (Sanchez, 2007), a casta (Lovisolo *et al.* 2010) e a idade foliar (Patakas *et al.*, 1997), entre outros factores. Segundo Choné *et al.* (2001), o tipo de solo pode também influenciar o valor de potencial hídrico, uma vez que solos argilosos darão valores menos negativos que solos arenosos. A própria colocação espacial da folha seleccionada para a medição dentro da sebe influencia os resultados (Schultz e Matthews, 1993).

No entanto, devido ao facto desta medição constituir um dos parâmetros de controlo do estado hídrico da videira mais aceite pelo sector e comunidade científica,

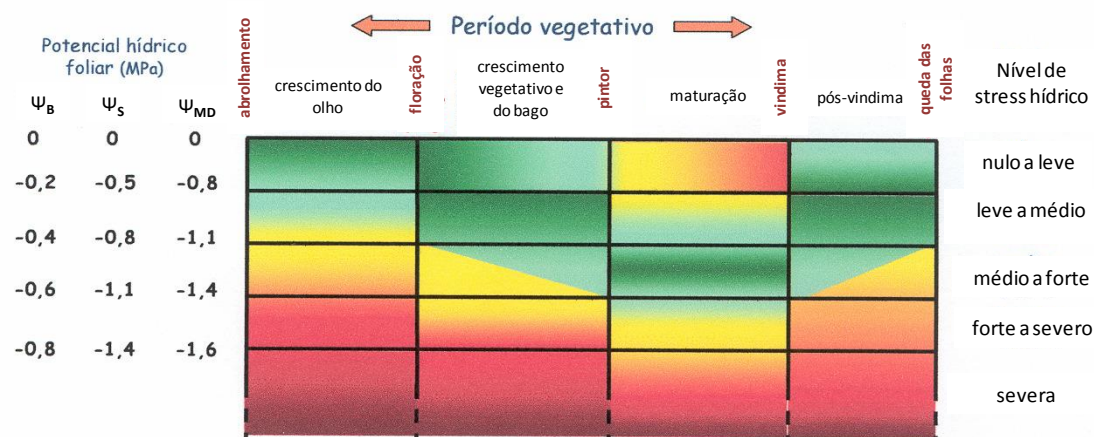


Figura 1 - Estados hídricos óptimos (zonas em verde), desfavoráveis (zonas em amarelo) ou prejudiciais (zonas em vermelho) em função do período vegetativo da videira. Níveis de restrição hídrica expressos em MegaPascals (MPa) para o potencial hídrico foliar de base (Ψ_B), potencial hídrico do caule (Ψ_C) e potencial hídrico foliar mínimo (Ψ_{MD}) (Ojeda, 2007)

vários investigadores forneceram valores de referência do potencial hídrico para conhecer as restrições hídricas da videira, inclusive as relações ao longo do ciclo vegetativo como se pode ver na figura 1 (Carbonneau, 2002; Ojeda, 2007).

5.2 Trocas gasosas

Uma das primeiras reacções da planta a uma situação de baixa disponibilidade hídrica consiste na diminuição da abertura estomática (Cifre *et al.*, 2005). Sendo assim, as trocas gasosas podem ser um importante indicador de stress hídrico (Flexas *et al.*, 2004 ; Cifre *et al.*, 2005; Medrano *et al.*, 2007). Flexas *et al.* (2004) consideram a condutância estomática (g_s) um parâmetro integrador dos vários sinais associados a resposta da planta ao défice hídrico. A grande correlação encontrada entre a g_s e a fotossíntese pode ser utilizada para monitorizar o estado hídrico da planta (Flexas *et al.*, 2002; Cifre *et al.*, 2005). No entanto, visto que na resposta da fotossíntese ao stress hídrico podem estar envolvidas limitações não estomáticas, sobretudo em

situações de maior severidade, a avaliação da g_s deve ser complementada com a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A). A razão A/g_s (eficiência intrínseca do uso de água) permitirá avaliar o tipo de limitações envolvidas na resposta da fotossíntese à carência hídrica (Flexas *et al.*, 2004).

Alguns autores indicam que para permitir uma razão A/g_s máxima, uma rápida recuperação da fotossíntese após a rega e uma melhor qualidade das uvas, com perdas reduzidas comparativamente a uma rega intensiva, a g_s deve manter-se num determinado intervalo ($0,15 > g_s > 0,05 \text{ mol H}_2\text{O.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), correspondente a um stress hídrico moderado. Estes consideram que a rega apenas deve ser aplicada quando os valores de g_s foram inferiores ao limite mínimo deste intervalo (Medrano *et al.*, 2002; Cifre *et al.*, 2005).

A medição da condutância estomática, entre outros parâmetros relacionados com as trocas gasosas, é feita com recurso a equipamentos portáteis como o IRGA (Infrared Gas Analyzer). Apesar de Intrigliolo *et al.* (2009) considerarem o IRGA extremamente fiável para este fim e da vantagem de se tratar de um método não destrutivo (Smart, 1974), este tipo de equipamento continua a ser mais utilizado para fins científicos do que em explorações comerciais, facto a que não é alheio o seu elevado custo e a especialização exigida para o seu manuseamento (Intrigliolo *et al.*, 2007). Além disso, tratando-se de medições em folhas individuais, a amostragem é sempre complexa, (Lu *et al.*, 2003), as medições são demoradas e o equipamento não é muito “user-friendly” .

II. MATERIAL E MÉTODOS

1. Caracterização da parcela experimental

O presente trabalho foi desenvolvido na Herdade do Esporão (latitude-38° 23'55 N e longitude-7° 32'46 W), situada no concelho de Reguengos de Monsaraz, região vitivinícola do Alentejo e sub-região de Reguengos (DOC).

A parcela onde se insere o ensaio foi plantada em 2003, segundo uma orientação Norte-Sul. O compasso utilizado foi de 3 m x 1,5 m, equivalendo assim a uma densidade de plantação de 2222 videiras/ha.

O sistema de condução utilizado nesta vinha é o Monoplano Vertical Ascendente, com as videiras formadas em Cordão Royat bilateral, com uma altura de tronco de 65 cm e uma carga média à poda (poda curta) de 16 olhos/videira, o que corresponde a 35555 olhos/ha. Para auxiliar na orientação vertical da vegetação, são utilizados dois pares de arames móveis, que acompanham o crescimento vegetativo ao longo do ciclo.

Encontra-se instalado no ensaio um sistema de rega gota-a-gota com as respectivas estações de bombagem e filtragem. Este sistema de rega é constituído por 1 gotejador por metro linear com um débito de 2,2 L/h. Foram instaladas torneiras na bordadura de cada linha do ensaio de modo a adaptar a rega ao delineamento pretendido. A água utilizada na rega provém de uma represa privada da herdade.

Os dados e resultados apresentados neste trabalho foram obtidos durante o ciclo biológico de 2013.

2. Caracterização edafo-climática da região

Nesta região observam-se características climáticas mediterrânicas com influência continental. A precipitação média é de 550 – 650 mm por ano, concentrando-se essencialmente nos meses de Inverno. O clima da região é caracterizado por Verões quentes e secos (Fig.1). A temperatura média varia entre 9,4°C e 24°C e os valores relativos à insolação são bastante elevados, cerca de 3000 horas de insolação anual (Sogrape, 2014).

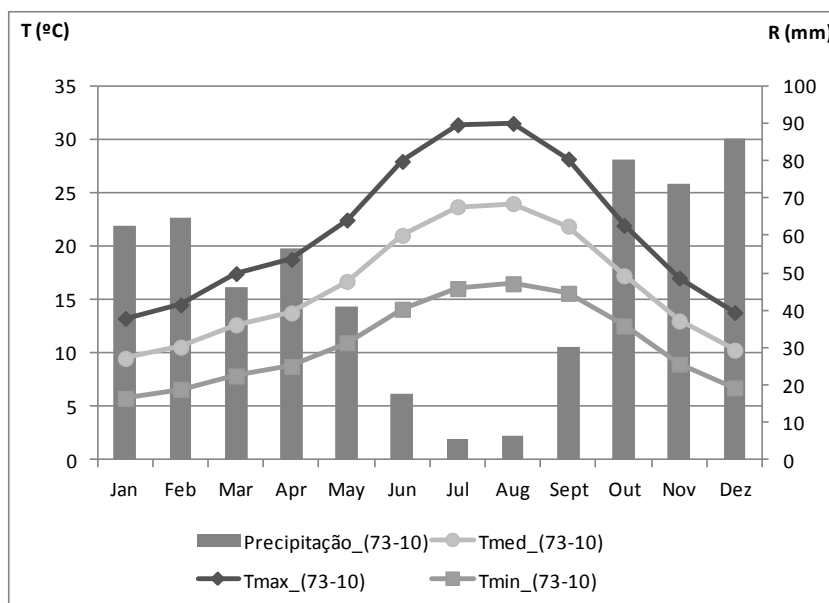


Figura 2 - Caracterização climática da região entre 1973 e 2010: precipitação, temperatura máxima (Tmax), temperatura média (Tmed) e Temperatura mínima (Tmin).

As amostras de solo revelam que a Touriga Nacional assenta em solo franco-arenoso, alcalino, com pH 7,6 e baixo teor em matéria orgânica.

3. Material Vegetal

3.1 Touriga Nacional

Origem e Distribuição: Até data recente, apenas era cultivada nas Regiões Demarcas do Douro e do Dão. No Alentejo era ausente nos anos 80, no entanto, actualmente ocupa cerca de 1060 ha na região. Na região de Lisboa ocupa a 3ª posição nas castas tintas mais cultivadas.



Figura 3 - Exemplo de cacho e folha da Touriga Nacional

Dados Vitícolas: Porte prostrado, dificultando bastante a sua condução em verde, vigor alto, sendo de evitar solos muito férteis ou húmidos onde a tendência para o desavinho se acentua e a maturação é retardada, não permitindo uma completa maturação fenólica. Ciclo vegetativo longo, pelo que requer solos de fertilidade média e exposições do quadrante Sul. Esta casta é sensível à desfolha e tradicionalmente propícia ao desavinho e à bagoinha, no entanto tem actualmente um comportamento aceitável, graças aos materiais policlonais entretanto seleccionados. Relativamente à produtividade é moderada devido ao baixo peso do cacho, apesar de a sua fertilidade ser das mais elevadas entre as castas portuguesas.

Pragas e Doenças: É pouco sensível à cigarrinha verde e muito sensível à escoriose, o que associado ao seu porte prostrado, a torna muito sensível ao vento.

Dados Enológicos: Casta versátil com capacidade para produzir quer vinhos do Porto, quer vinhos de mesa de alta qualidade, desde que vindimada já no início da sobrematuração. Devido à complexidade aromática, estrutura e qualidade dos compostos fenólicos é uma casta de excelência para produzir vinhos monovarietais ou para melhorar o lote com outras castas (Magalhães, 2008).

3.2. Porta-enxerto 1103-Paulsen

É um porta-enxerto com boa adaptação a climas quentes e secos e a solos de baixa fertilidade (Mota e Garrido, 2001). As características deste porta-enxerto resultam da transmissão dos caracteres por hibridação dos seus progenitores

Vitis Berlandieri – vigor forte, sistema radicular semiprofundo, muito boa resistência ao calcário e à filoxera e boa resistência à seca,

Vitis Rupestris – vigor forte, sistema radicular pouco profundo, muito boa resistência ao calcário e à filoxera e boa resistência à seca.

O 1103-P é um híbrido de *Berlandieri* com *Rupestris* e foi obtido por Paulsen no fim do século XIX (Mota e Garrido, 2001):

Quadro 1 - Características do porta-enxerto 1103-P (Mota e Garrido, 2001)

Vigor	Muito vigoroso
Produção	Média/alta
Resistência à filoxera	Suficientemente resistente
Resistência aos nemátodos	Média
Resistência à seca	Boa
Resistência ao calcário	17 a 19 %; IPC = 30
Resistência à salinidade	Bastante tolerante
Sensibilidade à humidade	Moderadamente tolerante
Senilidade à acidez	Média
Acção sobre o ciclo vegetativo	Retarda um pouco

$$\text{IPC (índice de poder clorosante)} = (\text{CO}_3\text{Ca}/(\text{Fe})^2 \times 10000$$

4. Delineamento Experimental e Estatística

O delineamento experimental é constituído por uma distribuição em blocos casualizados com quatro repetições e duas modalidades: SDI – 80% ETc (334mm aplicados semanalmente de meados de Junho a final de Agosto) e RDI – 50% da água aplicada na modalidade SDI (160 mm) (Anexo I). Para o estudo foram seleccionadas 10 videiras em cada linha útil.

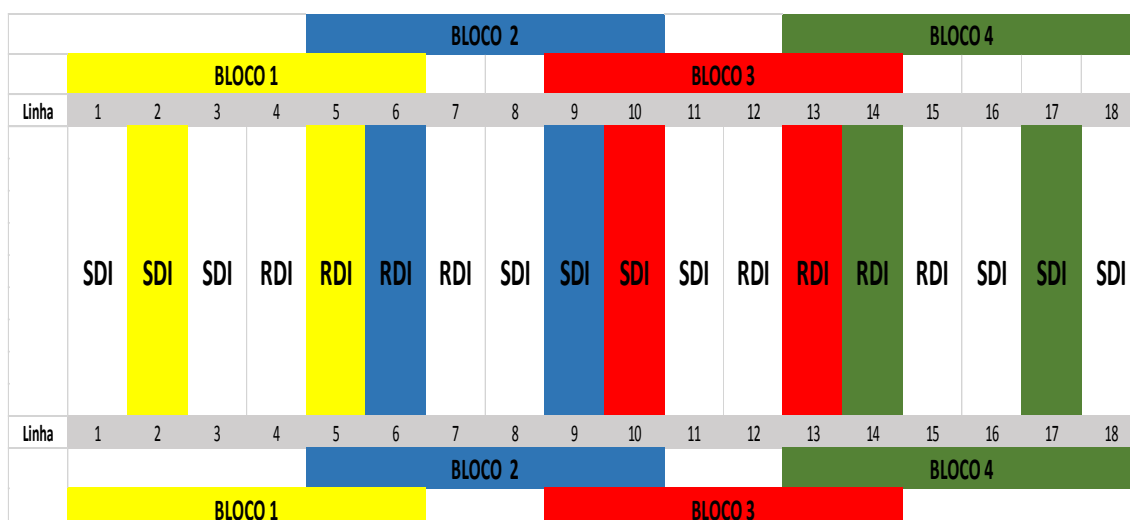


Figura 4 - Esquema do delineamento experimental do ensaio instalado na Herdade do Esporão, casta "Touriga Nacional", Reguengos, 2013. (RDI – Regulated deficit Irrigation; SDI – Sustainable Deficit Irrigation).

Os resultados foram submetidos a uma análise de variância. A significância dos valores de F calculados para os factores foi de $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**) e $p < 0,001$ (***), considerando-se como significativa, muito significativo e altamente significativo, respectivamente. Foram efectuadas correlações entre algumas das variáveis em estudo, determinando-se o coeficiente de correlação de Pearson e respectiva significância do teste.

Para a análise dos dados utilizou-se o software Microsoft Excel e o Statistix 9.

5. Operações culturais

As operações culturais efectuadas na parcela estão descritas no anexo II.

6. Medições

Os registos e medições de campo foram efectuadas durante todo o ciclo vegetativo de 2013.

6.1. Rendimento e suas componentes

Os registos dos componentes de produção foram efectuados sobre todas as videiras úteis do ensaio, ou seja, dez por modalidade x repetição x bloco, num total de 80 videiras. Assim, foram efectuadas a várias componentes do rendimento.

6.2. Fenologia

A determinação dos principais estados fenológicos baseou-se na observação de 10 videiras em todo o ensaio, registando-se as datas dos principais estados fenológicos (abrolhamento, floração, vingamento, pintor e meia maturação). A partir da floração foram colhidos dados semanalmente. A identificação dos estados fenológicos

efectuou-se segundo a escala BBCH, que atribui a cada estado um código com dois dígitos, sendo o primeiro correspondente ao principal estado de crescimento e o segundo a um estado secundário (Anexo III).

6.3. Área foliar

A área foliar foi determinada indirectamente, segundo o método proposto por Lopes e Pinto (2005), ajustado com equações obtidas especificamente na casta “Touriga Nacional” (Lopes *et al.*, dados não publicados).

Para o efeito, foram seleccionadas de entre as videiras úteis, três videiras e em cada uma dois pampânos médios produtivos, por cada modalidade x bloco, num total de 48 pampânos.

A área foliar de cada folha (AF) foi estimada a partir de um modelo que relaciona a área foliar da folha (cm²) com a soma dos comprimentos das nervuras secundárias (L₂) (Lopes *et al.*, dados não publicados).

O modelo utilizado na estimativa da área foliar das folhas foi:

$$AF(\text{cm}^2) = 0,526 \times L_2^{1,9301} \quad (\text{Equação 1})$$

A área foliar principal do sarmento (AF_p) foi determinada com base num modelo que utiliza as seguintes variáveis: área foliar média (AF_{med}), que corresponde à média entre a área da folha maior (AF_{max}) e da folha menor (AF_{min}) do sarmento, a AF_{max} e o respectivo número de folhas (NF). O modelo para estimar AF_p foi o seguinte (Lopes *et al.*, dados não publicados):

$$AF_p(\text{cm}^2) = e^{(0,0446 - 0,245 \times \ln(AF_{\max}) + 1,177 \times \ln(AF_{\text{med}} \times NF))} \quad (\text{Equação 2})$$

A área foliar secundária (AF_n), por sarmento, foi estimada com base num modelo semelhante ao da AF_p, só que neste caso foram utilizados a área foliar média das netas (AF_{nmed}), que corresponde à média entre a área foliar da folha maior das netas (AF_{nMax}) e a área foliar da folha menor das netas (AF_{nmin}), mais a AF_{nmax} e o número de folhas das netas (NF_n). O modelo utilizado para a AF_n foi (Lopes *et al.*, dados não publicados):

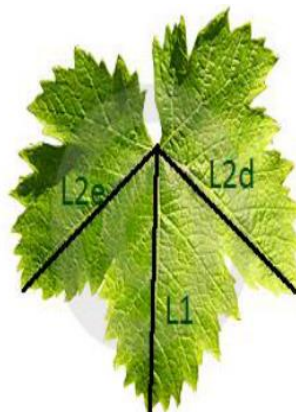


Figura 5 – Nervuras secundária esquerda (L2e) e direita (L2d) e nervura principal (L1)

$$AF_n(\text{cm}^2) = e^{(0,558 - 0,244 \times \ln(AF_{n_{\max}}) + 1,048 \times \ln(AF_{n_{\text{med}}} \times NF_n))} \quad (\text{Equação 3})$$

A área foliar total do sarmento foi obtida somando a respectiva área foliar principal e das netas. Com base na área foliar total de um sarmento e no número de sarmentos por videira, foi determinada a área foliar total por videira. Desta mesma forma, determinou-se a área foliar principal e das netas por videira.

Foram realizados registos da área foliar ao vingamento, bago de ervilha, fecho dos cachos e meia maturação.

6.4. Número de camadas de folhas

O número de camadas de folhas (NCF) foi obtido através da inserção de uma vara de metal que atravessa a sebe de um lado ao outro ao nível da zona dos cachos, tocando em folhas, cachos e buracos, anotando-se o tipo de contacto (folha ou cacho), a ordem dos mesmos e número de contactos. (Smart e Robinson, 1991). Considera-se buraco quando a vara atravessa a sebe e não toca em nada.

Em cada medição eram feitas vinte inserções por cada unidade experimental mínima num total de oitenta por modalidade. Estas eram feitas com um espaçamento de vinte centímetros, com auxílio de uma vara de madeira graduada que era fixada à altura da zona de frutificação. Foi determinado o número médio de camadas de folhas, a percentagem de buracos, de folhas interiores e de cachos exteriores.

Os registos do número de camada de folhas foram efectuados ao final do pintor e na meia maturação.

6.5 Superfície foliar exposta

A superfície foliar exposta (SFE) foi determinada pelo método proposto por Smart e Robinson (1991) que pressupõe que a sebe é contínua e regular, como um paralelepípedo iluminado nas faces laterais e na face superior. Estimou-se o perímetro exposto, com base na altura e na média entre a espessura do coberto na zona de frutificação e na zona do último arame. Considerando a distância na entrelinha e linha, determinou-se a superfície foliar exposta por hectare.

Foram colhidos dados da SFE ao final do pintor e no meia maturação.

6.6. Teor de água no solo

Para as medições deste parâmetro utilizou-se uma sonda portátil Diviner 2000. Esta quantifica o teor de água no solo através de um método indirecto, baseado na constante dieléctrica do solo (K_a), designadamente, a frequência no domínio do tempo (FDR) ou técnica por capacitância.

Para acesso da sonda ao solo, instalaram-se tubos de PVC (policloreto de vinil), um por cada unidade experimental mínima, num total de 8. Os tubos têm entre 90-100 centímetros de profundidade e é medido a teor de água a cada 10 cm. Realizaram-se 40 medições, entre 20 de Junho e 21 de Outubro.

6.7. Potencial hídrico foliar e do caule

As medições do potencial hídrico foliar (Ψ) foram efectuadas periodicamente com uma câmara de pressão do tipo descrito por Sholander *et al.* (1965). Para o potencial hídrico foliar de base (Ψ_{PD}) foram efectuadas 2 repetições por modalidade de rega e por bloco, num total de 8 por modalidade, em folhas adultas em bom estado físico e sanitário, da zona média dos sarmentos e de videiras distintas. A amostragem no potencial hídrico foliar mínimo (Ψ_{MD}) foi semelhante com mais a particularidade de serem seleccionadas folhas bem expostas à radiação, mas foi efectuada apenas em 2 blocos, resultando assim num total de 4 por modalidade.

Foram efectuadas medições do Ψ antes do nascer do sol (Ψ_{PD}) e por volta das 14h (Ψ_{MD}), considerando que esta hora correspondente ao meio dia solar. Recolheram-se preferencialmente folhas de videiras próximas dos tubos de medição da humidade do solo, de forma a permitir posteriores relações entre registos. Com o objectivo de avaliar a influência da rega, realizaram-se algumas medições do Ψ antes e depois de ser efectuada a rega.

De modo a evitar perdas de água, a câmara foi posicionada o mais próximo possível das videiras e as folhas foram transportadas o mais rápido possível até à câmara de pressão, no interior de um saco de plástico transparente com algodão humedecido.

Realizaram-se 25 medições de Ψ_{PD} entre o dia 3 de Junho e 10 de Setembro. Quanto ao Ψ_{MD} foram obtidos 11 registos entre 20 de Junho e 21 de Agosto.

O potencial hídrico do caule (Ψ_c) foi medido com a mesma câmara de pressão utilizada no Ψ . As amostras consistiram em 2 repetições por modalidade e por bloco, num total de 4 medições por modalidade (a amostragem foi realizada em 2 blocos), sendo preferencialmente colhidas as folhas que estavam o mais próximo possível da estrutura permanente (tronco ou braços) e protegidas da radiação solar, contrariamente ao que sucedia na medição do Ψ . Cerca de 2 horas antes de se realizar as medições, envolviam-se as folhas seleccionadas com bolsas de plástico cobertas por papel de alumínio, para assim interromper a transpiração e fazer com que a folha entre em equilíbrio com o xilema (Schultz & Matthews, 1997).

As medições foram efectuadas próximo das 14h. O resto da metodologia é similar à seguida na medição do Ψ . Foram realizadas 7 medições entre 20 de Junho e 21 de Agosto.

6.8. Trocas gasosas

A avaliação das trocas gasosas foi efectuada através de um analisador de gases por infravermelhos, geralmente designado por IRGA (*Infrared Gas Analyzer*). Neste ensaio foi utilizado o modelo LI-6400, da marca LI-COR. Este aparelho permite obter os registos de vários parâmetros, como a taxa fotossintética líquida (A), a condutância estomática ao vapor de água (g_s), a taxa de transpiração (E), a radiação PAR, a concentração interna de CO_2 (C_i), a temperatura da folha (T_f) e a temperatura do ar (T_a).

As amostras eram compostas por 2 repetições por modalidade e por bloco, num total de 4 medições por modalidade (a amostragem era realizada em 2 blocos), sendo seleccionadas folhas adultas em bom estado físico e sanitário e bem expostas à radiação. Durante a manhã as medições foram efectuadas no lado este e durante a tarde no lado oeste, de modo a acompanhar o movimento do sol e consequentemente seleccionar folhas expostas à radiação.

Foram efectuados registos em vários dias entre 10 de Julho e 9 de Setembro, iniciando-se às 8 horas e de três em três horas após esta, terminando às 20 horas.

6.9. Evolução na maturação

A recolha das amostras de bagos foram realizadas pela equipa do ITQB (Instituto de Tecnologia Química e Biológica). A mesma equipa procedeu às análises dos bagos à meia maturação e à vindima, fornecendo dados relativos a diversos parâmetros como: peso bago frescos, peso bago seco, diâmetro do bago, °Brix, acidez total, pH e antocianinas totais.

As análises, foram realizadas no laboratório das instalações do ITQB em Oeiras.

6.10. Vindima

A data da vindima foi determinada em função dos índices de maturação observados, das análises efectuadas e das condições atmosféricas, tendo-se realizado a 3 de Setembro. Foram vindimadas as videiras úteis, tendo-se registado o número de cachos e o peso total dos cachos por videira.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Caracterização climática

1.1 Temperatura

Durante o ano de 2013, a temperatura média do ar no período em que as videiras ainda se encontravam em repouso vegetativo (Janeiro a Março) foi inferior à média da temperatura do período de referência (1973-2010), com uma diferença mais acentuada, cerca de dois graus, no mês de Fevereiro. No período activo da videira (Abril a Setembro), a temperatura média do ar foi geralmente superior à temperatura do período de referência, com maior evidência durante os meses de Julho e Agosto com 1,9 °C mais elevadas.

O período do abrolhamento à floração teve a duração de 57 dias, nomeadamente do dia 22 de Março até 17 de Maio, necessitando de 830°C (ΣTa), para completar esta fase de desenvolvimento. Nesta fase a temperatura média foi 15°C, sendo registada a temperatura mínima absoluta de 2,5°C e a máxima absoluta de 31,6°C.

O período da floração ao pintor ocorreu entre 18 de Maio e 30 de Julho, com a duração de 74 dias e necessitou de 1651 °C (ΣTa). A temperatura mínima absoluta registada nesta fase foi de 4°C e atingiu um máximo absoluto de 43,6 °C com uma média de 22,3 °C. É de salientar também as elevadas temperaturas nesta fase tendo sido registado em 25 dias temperaturas superiores a 35°C.

Do pintor até à vindima, que ocorreu no dia 3 de Setembro, passaram 35 dias e o somatório das temperaturas activas nesta fase foi 912,5 °C (ΣTa). A média da temperatura do ar neste período foi 26,1°C, com a temperatura mínima absoluta de 12,43 e a máxima absoluta de 42,19. Registaram-se neste período 27 dias com temperaturas superiores a 35°C.

1.2 Precipitação

Relativamente ao ano de 2013, houve um acréscimo da precipitação no período de Janeiro a Setembro com 387 mm, em relação ao período de referência (1973-2010) com 330,8 mm e com diferenças na sua distribuição. No período de repouso da videira durante o ano de 2013 (Janeiro a Março), registaram-se 299,4 mm, correspondente a 77% da precipitação ocorrida até Setembro, enquanto no período de referência, durante o mesmo período, registaram-se 173,9 mm, correspondente a 53% da precipitação ocorrida durante o ciclo vegetativo. Salienta-se o facto de ter ocorrido um elevado acréscimo da precipitação durante o mês de Março de 2007 (194 mm), que explica de certa forma esta diferença. Já no período activo da videira (Abril a

Setembro), no ano de 2013 registaram-se 87,6 mm, valor bastante inferior ao registado durante o período de referência, 156,9 mm.

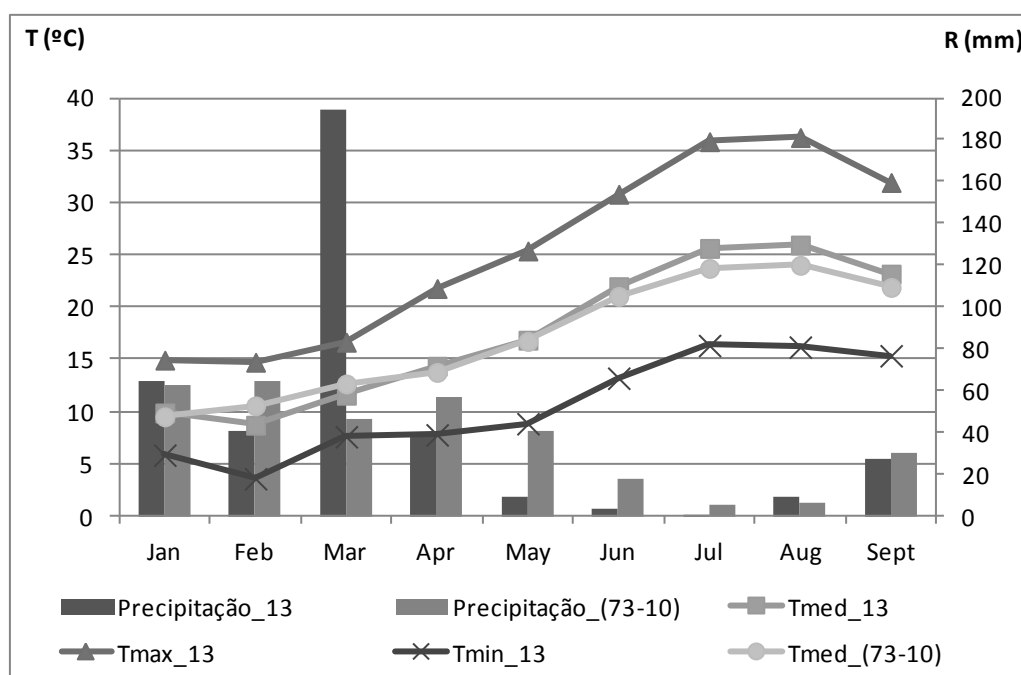


Figura 6 - Normais dos valores da temperatura média do ar, e da precipitação média mensal da região (1973-2010). Temperatura média, máxima e mínima do ar e precipitação mensal (2013).

2. Evolução da água no solo

Visto que a precipitação e a rega constituem as únicas entradas de água no sistema solo analisaremos numa primeira fase a contribuição de cada uma ao longo do ciclo vegetativo da videira.

Desta forma, admitindo que a distribuição e a intensidade das chuvas permitiram a sua total infiltração, isto é admitindo o escoamento superficial nulo e a drenagem nula ou negligenciável, da análise ao quadro 2 observa-se que a precipitação adicionou cerca de 137 mm de água ao solo no período entre o abrolhamento e a vindima. Sendo que grande maioria, 119,4 mm corresponde ao período do abrolhamento à floração. De salientar o facto dos 10 mm de precipitação que ocorreram na fase da maturação correspondem a uma queda pluviométrica de 8,8 mm no dia 29 de Agosto, a semana anterior à vindima.

No quadro 2 observa-se também que a rega apenas se iniciou após a floração, mais precisamente a 14 de Junho no SDI e 21 de Junho na RDI. Admitindo que a água proveniente da rega é na sua totalidade infiltrada no solo, verifica-se que na modalidade SDI no período da floração ao pintor a rega contribuiu com 158,4 mm, à semelhança do período do pintor à vindima. No RDI, entre a floração e a vindima esta contribuiu com 77 mm e na fase posterior com 82,5 mm.

Quadro 2 - Entradas de água no sistema solo, nas diferentes fases do ciclo vegetativo da videira, para os 2 tratamentos de rega (SDI e RDI).

Fase do Ciclo	Datas	Precipitação (mm)	Rega (mm)	
			SDI	RDI
Abrolhamento – Floração	22 Mar a 17 de Mai	119.4	0	0
Floração – Pintor	18 Mai a 30 de Jul	7.6	158,4	77
Pintor – Vindima	31 Jul a 3 Set	10	158,4	82,5
Total		137	316.8	159.5

Visto isto, devido à irregularidade da distribuição da precipitação, com 77% a ocorrer de Janeiro até ao início da actividade da videira em Março (Fig. 6), o armazenamento de água no solo neste período assumiu elevada importância no desenvolvimento da videira.

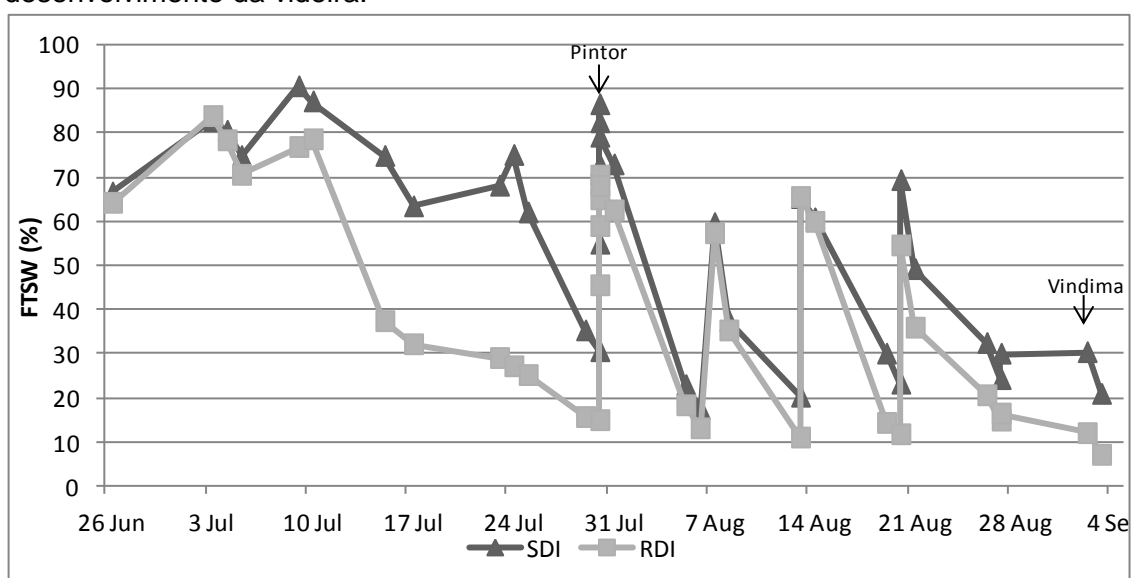


Figura 7 - Variação da fração de água transpirável no solo (FTSW), em %, na camada 0-90 cm, ao longo do ciclo vegetativo da videira, para os 2 tratamentos de rega (SDI e RDI).

Na figura 7 encontra-se a evolução da fracção de água disponível no solo para as plantas fração de água transpirável no solo (FTSW) durante o ciclo vegetativo das videiras, com a primeira medição a ser efectuada a 26 de Junho e a última a 3 de Setembro. A FTSW para um determinado dia “i” foi calculada com base no teor de água no solo medido no dia “i” e os valores máximo e mínimo medidos ao longo do ensaio, através da seguinte expressão:

$$FTSW (i) = \frac{(Teor\ H_2O\ solo\ (i) - Teor\ H_2O\ solo\ (mínimo))}{(Teor\ H_2O\ solo\ (máximo) - Teor\ H_2O\ solo\ (mínimo))}$$

No dia 26 de Junho a modalidade SDI tinha sido regada por duas vezes (14 e 21 de Junho) e o RDI apenas uma (21 de Junho). No entanto a FTSW era igualmente

elevada em ambos os tratamentos com 66,5 e 64,1% a modalidade SDI e RDI respectivamente (Fig. 7).

Observam-se dois períodos com uma maior distinção entre modalidades, desde da primeira medição até à vindima. O primeiro período entre o dia 9 de Julho a 30 de Julho, que corresponde ao período entre o fecho dos cachos e pintor. O segundo período entre o dia 21 de Agosto a 3 de Setembro, que corresponde à fase de maturação das uvas.

No primeiro período a modalidade SDI atingiu um mínimo de 30,5% e o RDI de 14,9%, no dia 30 de Julho (pintor) no final de um ciclo de rega, como se observa na fig. 7. Após o pintor registaram-se os valores mais baixos de todo o ciclo, sendo o mínimo de FTSW registado no SDI de 17,5 % no dia 6 de Agosto e na RDI 7,1% no dia da vindima, 3 de Setembro.

Sempre que a FTSW aumenta corresponde essencialmente à rega, uma vez que apenas no dia 29 de Agosto houve adição de água ao solo através da precipitação, mais precisamente 5,4 mm considerando a água perdida pela evapotranspiração.

3. Potencial hídrico

3.1 Potencial Hídrico Foliar de Base

Durante o mês de Junho, o potencial hídrico foliar de base (Ψ_{PD}) foi semelhante entre tratamentos de rega, independentemente das diferentes dotações de rega aplicada neste mês (SDI-35,6 mm e RDI – 17,6 mm). O facto de não se verificar uma diferenciação no Ψ_{PD} neste período pode ser explicada pela elevada disponibilidade hídrica (FTSW>60% no dia 26 de Junho) no solo em ambas as modalidades. Após o início de Julho observa-se que o Ψ_{PD} entre tratamentos começa a diferenciar-se, sendo mais notória esta separação na semana que antecede a vindima (Fig. 8).

Na modalidade RDI o potencial de base no período bago de ervilha-pintor variou entre -0,12 e os -0,37 MPa, diminuindo gradualmente ao longo do tempo. Estes valores não são inibidores do crescimento vegetativo (Baeza, 2007). Analisando a figura 8, observa-se que o Ψ_{PD} durante o mês de Junho oscilou entre valores considerados por Ojeda (2007), como stress hídrico nulo a leve (Fig. 1), enquanto durante o mês de Julho até ao pintor oscilou entre valores considerados pelo mesmo autor como stress hídrico leve a médio. Do pintor à vindima, os valores oscilaram entre -0,21 e -0,62 MPa, sendo os valores mais altos registados sempre nos dias após a rega e os mais negativos no dia anterior à mesma. De um modo geral neste período registaram-se valores que indicam um stress hídrico moderado a forte (Ojeda 2007).

Segundo o mesmo autor, esta evolução do potencial de base favorece a produção de vinhos de qualidade, concentrados, equilibrados e aptos para guarda.

Na modalidade SDI, na maioria das vezes, os potenciais registados eram menos negativos que no RDI. Na fase bago de ervilha-pintor os valores de Ψ_{PD} variaram entre -0,12 e -0,25 MPa, o que sugere um stress hídrico nulo a leve (Ojeda 2007) e que não inibe o crescimento vegetativo (Baeza *et al.* 2007). Do pintor à vindima os valores oscilaram entre os -0,20 e -0,48 MPa, registando-se apenas três datas com valores inferiores a -0,4 MPa, por isso de um modo geral considera-se que durante este período a videira esteve sujeita a um stress leve a médio (Ojeda, 2007). Segundo Baeza (2007), as videiras no SDI nunca estiveram sujeitas a valores que inibem o crescimento vegetativo. Esta evolução do potencial de base promove a produção de vinhos de qualidade, equilibrados, mas com predominância de fruta sobre a estrutura (Ojeda, 2007).

Verifica-se em ambas as modalidades uma resposta clara do Ψ_{PD} à rega, sobretudo após o pintor, com a passagem de níveis de carência hídrica média a forte, para níveis de carência leve a média (segundo os limites propostos por Ojeda (2007).

Esta evolução de Ψ_{PD} em ambos os tratamentos traduz o efeito da redução gradual das disponibilidades hídricas do solo com o evoluir do ciclo, situação bastante comum em regiões com verões secos e quentes. A rega é assim uma ferramenta útil para atenuar esta redução gradual, permitindo uma gestão das disponibilidades hídricas do solo consoante as necessidades da planta ou objectivos produtivos.

A medição do Ψ_{PD} é por isso utilizada, em algumas explorações, como por

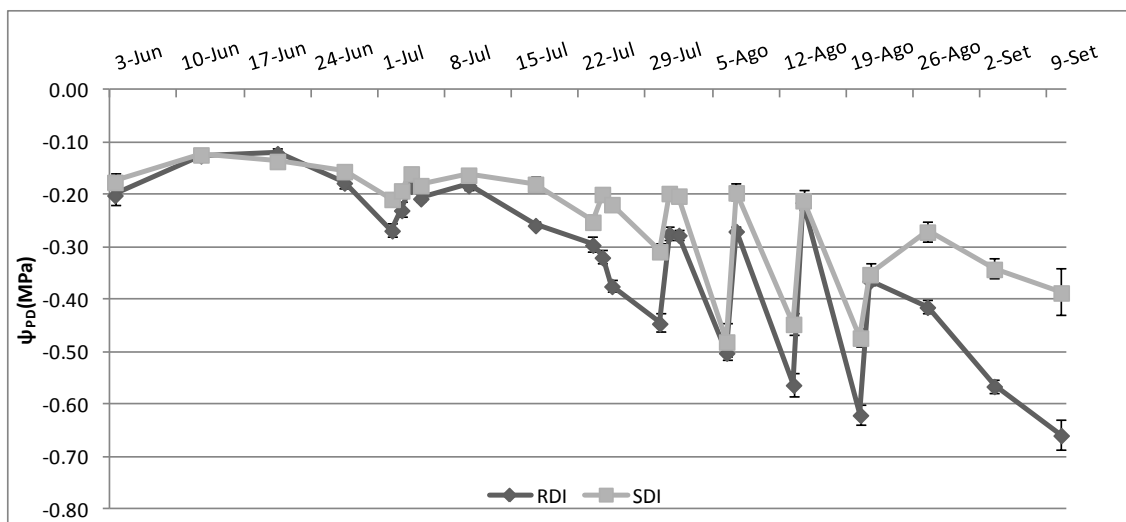


Figura 8 - Evolução sazonal do potencial hídrico foliar de base (Ψ_{PD}), nos 2 tratamentos de rega (SDI e RDI). Média e respectivo erro padrão de 8 medições por modalidade.

exemplo, na Herdade do Esporão, como auxiliar desta gestão das disponibilidades hídricas do solo, existindo na bibliografia (Ojeda, 2007; Baeza, 2007) valores de

referência para diferentes evoluções deste parâmetro que promovem a produção de diferentes tipos de vinho e valores de referência como inibidores do crescimento vegetativo que podem ser importantes em determinadas fases do ciclo vegetativo.

3.2 Potencial hídrico do caule

O potencial hídrico do caule (Ψ_s) diminuiu gradualmente ao longo do ciclo vegetativo, registrando-se os valores mais negativos após o pintor, tal como se tinha verificado no Ψ_{PD} .

Observa-se na figura 9 que o Ψ_s inicialmente era semelhante em ambos os tratamentos de rega, contudo com a evolução do ciclo vegetativo começa a notar-se uma distinção entre os tratamentos de rega e como esperado com o RDI a apresentar valores mais negativos.

Com excepção da primeira medição, na RDI o Ψ_s até ao pintor variou entre -1,1 e -1,19 MPa, o que segundo Ojeda (2007) é indicativo que a planta neste período esteve sob um stress hídrico forte a severo. Após o pintor os valores registados foram de -1,18 MPa, na semana seguinte ao pintor, nas duas medições posteriores, correspondentes à meia maturação foram -1,65 e -1,6 MPa. Segundo o mesmo autor valores inferiores a -1,4 MPa indicia um stress severo (Ojeda, 2007).

Na SDI, nas três medições efectuadas antes do pintor, o Ψ_s variou entre -0,91 e -1,05 MPa, o que revela nesta fase um stress médio a forte. Após o pintor os resultados oscilaram entre -1,16 e -1,50 MPa, apontando para um stress forte a severo (Ojeda, 2007).

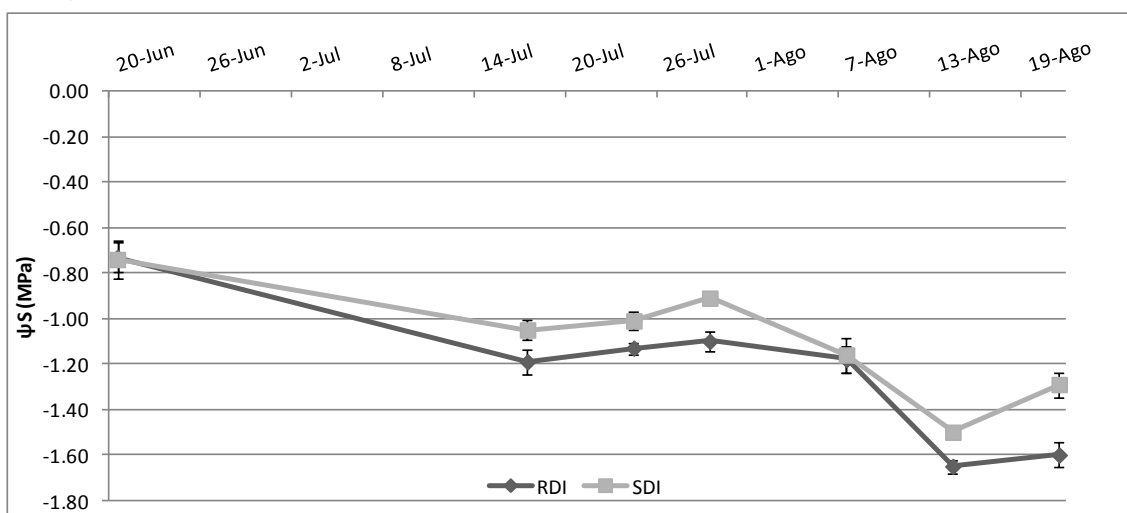


Figura 9 – Evolução sazonal do potencial hídrico do caule (Ψ_s), nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Média e respectivo erro padrão de 4 medições por modalidade.

No entanto estes resultados podem não corresponder justamente a um stress hídrico severo, uma vez que o Ψ_s é influenciado também pela temperatura ambiente e VPD (Schultz 2003, Salon *et al.* 2005, Intrigliolo e Castel 2006).

A 14 de Agosto, um dia após uma rega de 17,6 mm em ambos os tratamentos, registou-se igualmente -0,21 MPa de Ψ_{PD} para o RDI e SDI, ou seja, um stress hídrico leve (Ojeda, 2007). Contudo o valor registado de Ψ_S ao meio dia foi de -1,65 e -1,5 MPa para o RDI e SDI, respectivamente, o que corresponde a um stress forte a severo segundo o mesmo autor. Resultados semelhantes foram encontrados por Choné *et al.* (2001) e Santesban *et al.* (2011). Neste dia a temperatura máxima absoluta foi 38,6 °C, o VPD cerca de 4,6 kPa por volta da hora da medição e o FTSW era igualmente elevado em ambos os tratamentos (60%). Os resultados sugerem que embora a videira tenha água suficiente do solo durante a noite de modo a que o seu estado hídrico esteja totalmente recuperado de madrugada, ao meio-dia solar a taxa de transpiração excede a capacidade das raízes de extrair água do solo. Ou seja, ainda que possivelmente possa existir água disponível no solo, como revelou o Ψ_{PD} e elevada FTSW, a videira pode sofrer um stress hídrico momentâneo (algumas horas à volta do meio dia), possivelmente devido à elevada temperatura e VPD. Este stress hídrico momentâneo pode restringir o crescimento vegetativo devido à cavitação dos vasos xilémicos no ápice dos sarmentos (Schultz e Matthews, 1988). À data deste registo, 14 de Agosto, a videira encontrava-se no estágio fenológico correspondente à maturação, em que a restrição do crescimento vegetativo é benéfico para a qualidade das uvas.

Observa-se também que o tratamento SDI apresentou um Ψ_S superior ao RDI, independentemente do mesmo teor de água e do mesmo Ψ_{PD} , situação que se observou noutras medições. Uma explicação possível para esta diferença poderá ser a existência, no SDI, de uma maior disponibilidade hídrica no solo em camadas mais profundas que os 90 cm em se mediu o FTSW, uma vez que o SDI tinha recebido mais água que o RDI até à data. Gouveia *et al.* (2013) observaram na casta Touriga Nacional que o Ψ_S não era influenciado pela água disponível no solo em todas os perfis do solo, mas sim pelas camadas mais profundas do solo.

3.3 Potencial hídrico foliar mínimo

O potencial hídrico foliar mínimo (Ψ_{MD}) diminui gradualmente ao longo do ciclo vegetativo e com os valores mais negativos registados nas últimas medições.

Tal como se observou no potencial hídrico do caule, no Ψ_{MD} , a 20 de Junho não existiam diferenças significativas entre tratamentos. No entanto, com a evolução do ciclo contrariamente ao que se havia verificado no Ψ_{PD} e no Ψ_S não se observa tão facilmente diferença entre tratamentos. No entanto há que relembrar que o Ψ_{MD} integra quer os factores ambientais (solo e atmosfera), assim como da própria planta (resistência hidráulica interna, regulação estomática), ambos influenciam o estado

hídrico da planta (Choné *et al.*, 2001; Rodrigues *et al.*, 2012). Lopes (1994) refere que o valor do potencial hídrico foliar durante o dia deve-se principalmente à variação diurna da radiação solar e da temperatura.

Na RDI os valores que antecedem o pintor no mês do Julho, oscilam entre -1,35 e -1,79 MPa, sendo este último registado ao pintor. De um modo geral nesta fase regista-se um stress forte a severo. Após o pintor os valores variam entre -1,5 e -1,96 MPa o que indica um stress severo (Ojeda, 2007).

Na SDI os valores registados durante o mês de Julho variam entre -1,35 e -1,79 MPa, tal como no RDI este extremo mínimo foi registado ao pintor. Todavia, apesar do valor máximo ser semelhantes em ambos os tratamentos, os valores intermédios são relativamente inferiores comparativamente com o RDI, como se pode observar na figura 10, o que indicia um stress médio a forte. Após o pintor os valores alternaram entre -1,4 e -1,99 MPa o que aponta para um stress severo (Ojeda, 2007).

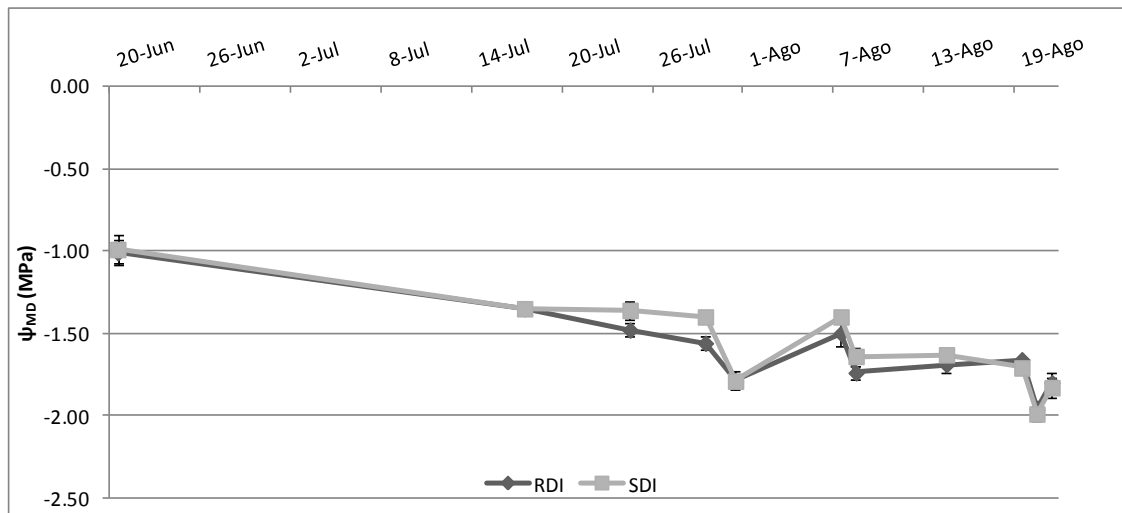


Figura 10 - Evolução sazonal do potencial hídrico foliar mínimo (Ψ_{MD}), nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Média e respectivo erro padrão de 4 medições por modalidade

Os três dias em que se registaram os potenciais mais negativos ($\Psi_{MD} < -1,79$ MPa), correspondem aos únicos dias, dos que se efectuaram registos de Ψ_{MD} , em que a temperatura máxima absoluta superou os 40 °C e com elevado VPD (>6,67 kPa). Além disso, nestes dias registaram-se valores semelhantes de Ψ_{MD} em ambos os tratamentos, mesmo com diferentes níveis de FTSW e Ψ_{PD} entre o SDI e RDI, registados nesses mesmos dias.

No dia 29 de Junho ($T_{max} = 32,4$ °C e VPD = 4,99 kPa), dia anterior à rega, o Ψ_{MD} registado foi -1,56 e -1,40 MPa para o RDI e SDI respectivamente, enquanto no dia 31 de Junho ($T_{max} = 40,5$ °C e VPD = 6,7 kPa), dia logo após a rega, foi registado para o RDI e SDI, -1,79 MPa. Ou seja, contrariamente ao esperado, o Ψ_{MD} diminuiu para níveis de stress severo, independentemente da rega e consequente aumento da disponibilidade hídrica do solo. Estes resultados sugerem que o Ψ_{MD} ,

independentemente da disponibilidade hídrica, tende a atingir um valor mínimo quando a videira é sujeita a elevadas VPD e temperaturas. Resultados semelhantes foram observados noutros estudos (Choné *et al.*, 2001, Cifre *et al.*, 2005; Rodrigues *et al.*, 2012). Rodrigues *et al* (2012), consideram que quando o VPD é superior a 3 kPa, o Ψ_{MD} está linearmente correlacionado com a humidade no ar, registando-se assim valores semelhantes entre videiras com stress hídrico e com conforto hídrico. Nas condições deste estudo, o VPD foi sempre superior a 3,65 kPa, nos dias das medições de Ψ_{MD} , atingindo o máximo de 8,26 kPa.

A casta “Touriga Nacional” neste estudo apresenta um comportamento isohídrico, porque os valores de Ψ_{MD} no RDI não diminuíram significativamente em relação ao SDI (Medrano *et al.*, 2003). Uma explicação alternativa é que Ψ_{MD} é semelhante num vasto intervalo de disponibilidades hídricas no solo (Cifre *et al.*, 2005). Também Rodrigues *et al* (2012) observaram o mesmo tipo de comportamento nesta casta, então pode-se concluir que o potencial hídrico ao meio dia não é um bom indicador do estado hídrico nesta casta e nas condições deste estudo, não podendo assim ser útil para gerir a rega nesta região, ou noutras com condições climáticas semelhantes de elevadas temperaturas e VPD e consequente elevada demanda atmosférica evaporativa.

4. Trocas gasosas

4.1 Evolução diurna da condutância estomática e taxa de assimilação líquida de CO₂ em três fases distintas do ciclo biológico da videira

Na figura 11 apresentam-se medições da condutância estomática (g_s) e taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), ao estágio fenológico fecho dos cachos (10 de Julho), pintor (29 de Julho) e meia maturação (19 de Agosto).

Verifica-se que a modalidade SDI apresentou em qualquer das 3 datas de medição a g_s e A superiores às apresentadas pela modalidade RDI, durante o dia, com excepção da medição das 20h. Nas medições efectuadas às 20 horas a PAR (Photosynthetically Active Radiation) era demasiado baixa (200 a 300 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), coincidindo assim com o início do fecho dos estomas e consequente diminuição da fotossíntese, por isso não serão considerados na análise geral.

Observaram-se sempre os maiores valores, quer de g_s , quer de A durante a manhã em ambos os tratamentos. Estes resultados estão na mesma linha que Chaves (1986) que refere valores de fotossíntese máxima entre 9 e as 11 horas.

Na SDI, até ao pintor os valores de g_s e A diminuíam gradualmente ao longo do dia. No entanto no dia 19 de Agosto, o mínimo de g_s foi atingido às 14h e permaneceu assim durante a tarde. Esta alteração no comportamento estomático no SDI talvez

seja explicada pela elevada temperatura que se registou neste dia ($T_{\max} = 41,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) e pelo elevado VPD (6,42 kPa), associado à menor FTSW (30%) registada entre estes três dias apresentados. Temperaturas desta ordem podem condicionar a abertura estomática (Downtow *et al.*, 1987; Winkel e Rambal, 1990). No dia 29 de Julho observa-se que a videira recuperou ligeiramente a A às 17h, nesta fase do dia a temperatura era cerca de um grau superior do que às 14h, mas o VPD decresceu ligeiramente, o que poderá explicar esta situação.

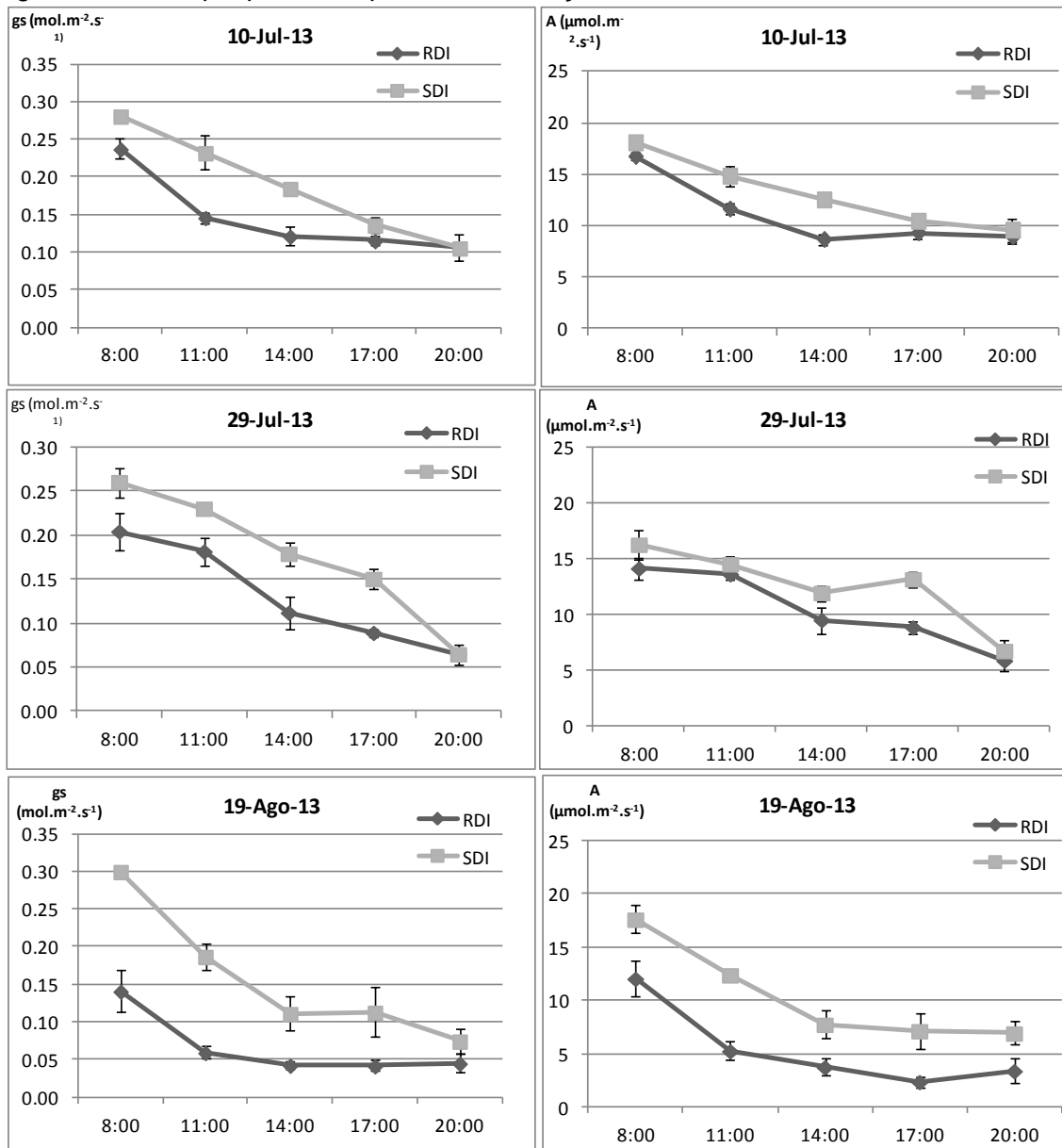


Figura 11 – Evolução diurna da condutância estomática (g_s) e taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), em três fases distintas do ciclo vegetativo da videira, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Média e respectivo erro padrão de 4 medições por modalidade em cada hora.

Na RDI observa-se que a g_s , no dia 10 de Julho e 29 de Agosto, atinge o mínimo por volta das 14h não recuperando mais, no entanto ao pintor (29 de Julho) ocorreu um decréscimo gradual ao longo do dia, sendo o mínimo atingido às 17h. Verifica-se

ainda uma diminuição dos valores da g_s ao longo do ciclo, sendo os valores mais baixos registrados após o pintor. No dia 19 de Agosto, tal como no SDI, os resultados evidenciam um maior stress hídrico em relação às datas anteriores o que coincide com as condicionantes ambientais extremas e baixo teor água no solo, já referido atrás, bem como com um dos valores mais negativos registrados de Ψ_{PD} ao longo de todo o ciclo (fig 8). Schultz (2003), já havia observado que o fecho dos estomas está correlacionado com disponibilidade hídrica no solo, registando reduções da g_s quando o Ψ_{PD} diminui. Ao nível da A o comportamento é semelhante à g_s , no entanto verifica-se uma maior aproximação dos valores da RDI em relação ao SDI, mais evidente no dia 29 de Julho durante a manhã, o que indica que apesar de a videira no RDI ter os estomas mais fechados a videira realiza a fotossíntese na mesma ordem de valores que o SDI.

De acordo com os valores de referência para a g_s (Flexas *et al.*, 2002; Medrano *et al.*, 2002; Cifre *et al.*, 2005), no SDI as videiras estiveram sujeitas a um stress hídrico leve, enquanto no RDI a um stress hídrico moderado. Os valores de g_s no RDI variaram, ao longo do ciclo, de um modo geral entre os valores de 0,05 e 0,15 mol H₂O m⁻² s⁻¹, o que Cifre *et al.* (2005) consideram que permite uma rápida recuperação da fotossíntese após a rega, produções moderadas com elevada qualidade e a máxima eficiência intrínseca do uso da água intrínseca (WUE_i). A melhoria no WUE_i será abordada mais à frente no ponto 4.3.

4.2 Influência da disponibilidade hídrica na condutância estomática e taxa de assimilação líquida de CO₂

Os dias 12 e 14 de Agosto, dia antes e logo após a rega respectivamente, foram muito semelhantes ao nível das condições atmosféricas, nomeadamente temperatura e VPD, por isso na figura 12 observa-se essencialmente a influência da disponibilidade hídrica na g_s e A.

Facilmente se verifica um aumento de g_s e A no dia após a rega em ambos os tratamentos. Bondada *et al.* (2012) obteve resultados semelhantes. Porém, enquanto na g_s se continua a verificar uma distinção entre modalidades o mesmo já não acontece para A. Tendo em conta que se verificou constantemente uma maior abertura estomática no SDI ao longo do ciclo, consequência da maior disponibilidade hídrica que geralmente apresenta em relação ao RDI e que com o aumento da água através da rega se constatou um aumento da g_s em ambos os tratamentos, pode-se deduzir então que os decréscimos na condutância estomática são tanto maiores quanto menor for a disponibilidade hídrica no solo.

Isto poderá ser explicado pela maior concentração de ácido abscísico (ABA), provavelmente no xilema do pecíolo e folha (Rodrigues *et al.*, 2008), quanto maior é o stress hídrico e uma vez que o ABA é responsável pelo fecho dos estomas, este tem forte influência sobre a variação da g_s e controlo da abertura dos estomas (William *et al.*, 2002). Quando a videira tem mais água no solo, logo menor concentração de ABA, abre mais os estomas, mas este incremento não é tão marcado na fotossíntese, o que indicia que a gestão da água é menos eficiente, com proporcionalmente maiores perdas por transpiração nas videiras regadas e tanto mais quanto maior a quantidade de água aplicada. Escalona *et al.* (1997) classificam este tipo de comportamento como um “consumo de luxo”.

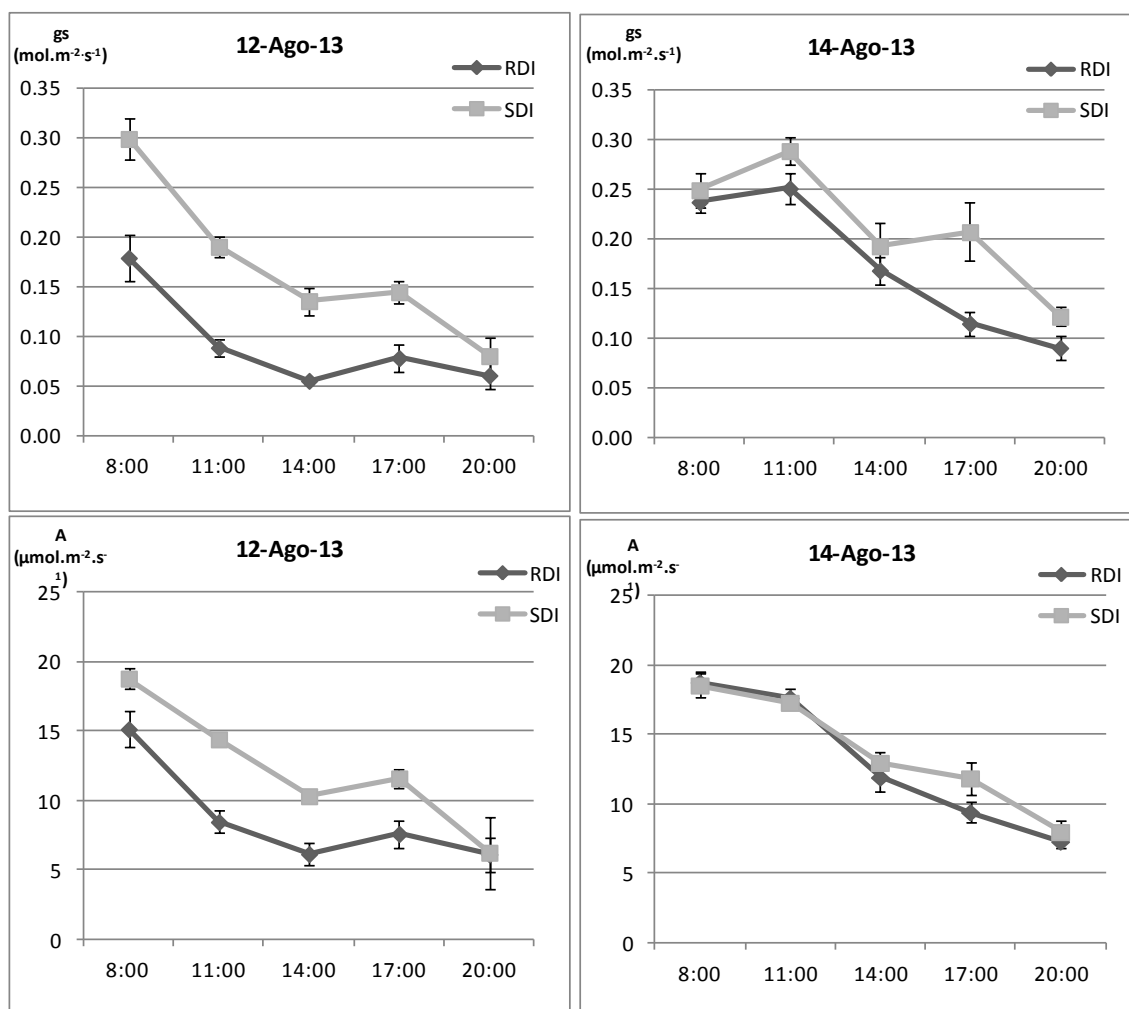


Figura 12 – Evolução diurna da condutância estomática (g_s) e taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), antes e após rega, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Média e respectivo erro padrão de 4 medições por modalidade.

4.3 Eficiência intrínseca do uso da água

Através do rácio entre a taxa de assimilação líquida de CO_2 e a condutância estomática, observa-se que, neste estudo as videiras com maior disponibilidade hídrica (SDI) apresentaram uma menor eficiência intrínseca do uso da água intrínseca (WUE_i) (Fig. 13).

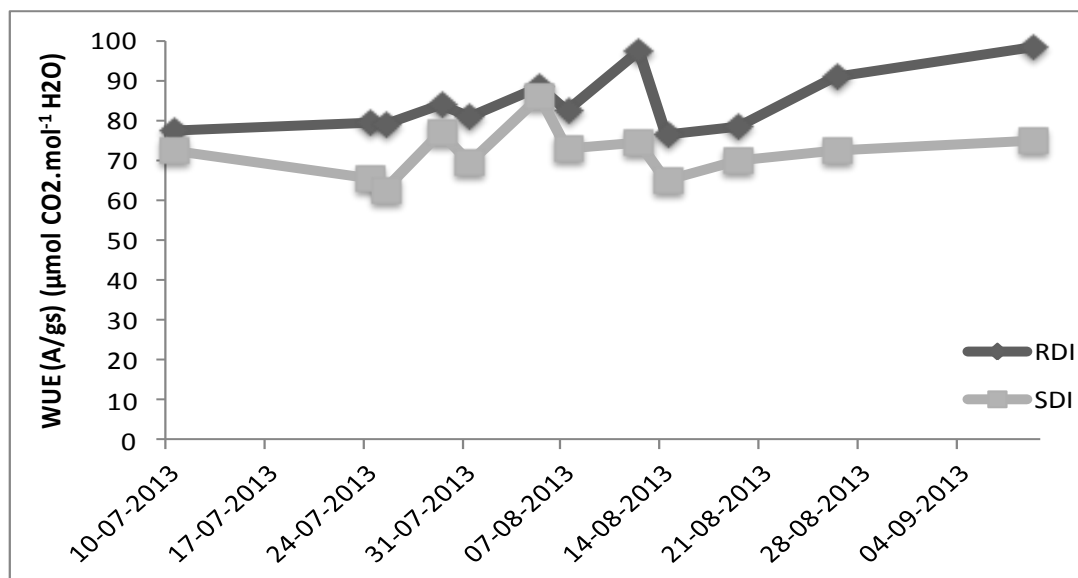


Figura 13 – Evolução da eficiência intrínseca do uso da água (WUE_i), ao longo do ciclo vegetativo da videira, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Médias correspondentes às medições efectuadas às 14h e respectivo erro padrão de 4 medições por modalidade.

As plantas sujeitas ao tratamento RDI apresentam durante todo o ciclo vegetativo um WUE_i superior ao SDI. Os resultados obtidos são semelhantes aos de Souza et al. (2003), Flexas et al. (2002), Medrano et al. (2002), Cifre et al. (2005) e Payan et al. (2006), em que é referida uma maior eficiência intrínseca do uso da água em videiras sujeitas a condições de carência hídrica.

5. Relação entre potencial de base e disponibilidade hídrica no solo

A fração de água disponível no solo para as plantas (FTSW) está significativamente correlacionada com o potencial hídrico foliar de base (Ψ_{PD}), quer para o RDI ($R=0,87$), quer para o SDI ($R=0,89$), com um nível de significância de 0,01. Estes resultados confirmam que antes do amanhecer, quando os estomas estão mais fechados, o potencial hídrico da planta se equilibra com o potencial hídrico do solo (Choné *et al.*, 2001; Deloire *et al.*, 2005). Este facto aliado ao elevado coeficiente de determinação, $R^2 = 79\%$ e $R^2 = 82\%$ para o RDI e SDI respectivamente, indica que através da medição do teor de água no solo poderá inferir o valor de Ψ_{PD} e vice-versa, com elevada confiança.

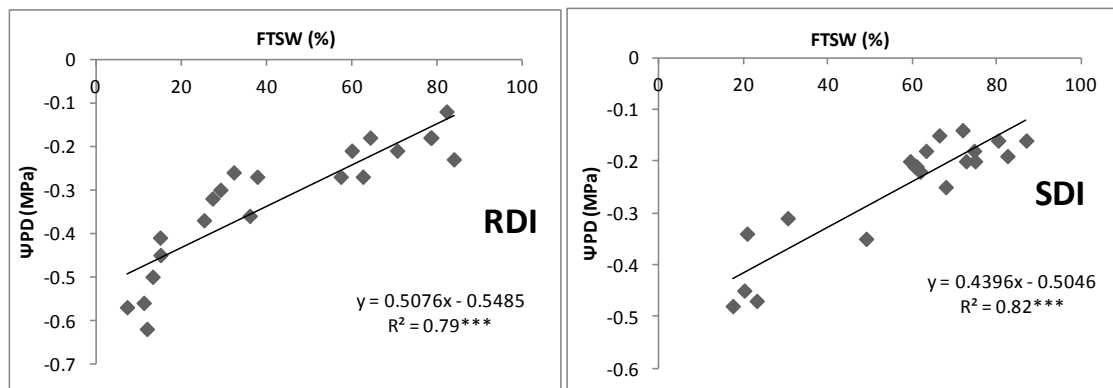


Figura 14 – Regressão linear entre a fração de água transpirável (FTSW) – variável independente e o potencial hídrico foliar de base (ΨPD) – variável dependente, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Respectivas equações, coeficiente de determinação (R^2)

Este poderá ser um ponto importante para as explorações comerciais, uma vez que através da medição da água no solo, que pode ser efectuada automaticamente a qualquer hora, poderão ter uma avaliação mais completa sobre o estado hídrico da planta e ajustar melhor a calendarização da rega. No entanto esta relação teria que ser analisada com maior rigor, por exemplo, através da medição da FTSW em camadas mais profundas, ou qual seria a melhor hora para efectuar a medição de FTSW, de forma a entender melhor a mesma e obter resultados mais robustos.

6. Relação entre a disponibilidade hídrica no solo e a condutância estomática

A disponibilidade hídrica está significativamente correlacionada com a condutância estomática, ao nível de confiança de 0,05. A modalidade RDI apresenta um coeficiente de correlação superior ($R=0,74$) em relação à modalidade SDI ($R=0,65$). Através da figura 15 observa-se que o coeficiente de determinação (R^2), é superior na RDI comparativamente com a SDI.

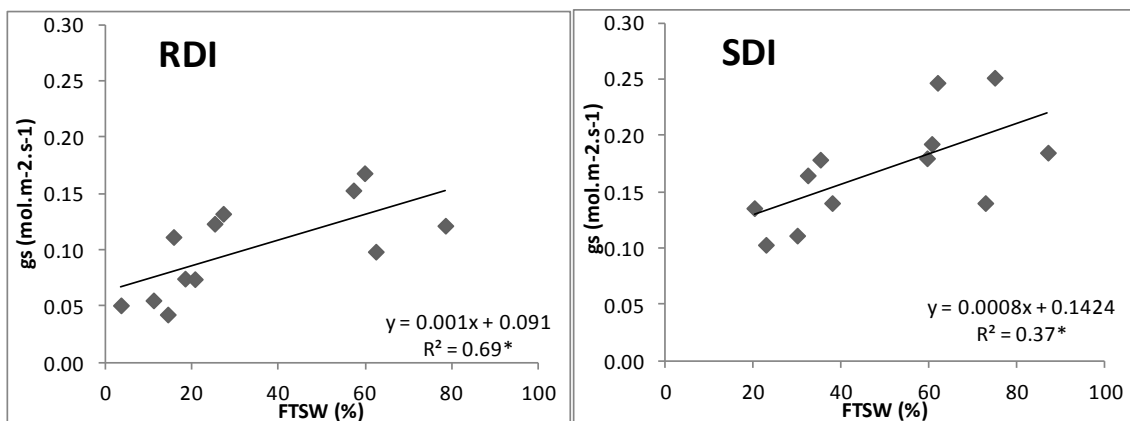


Figura 15 - Regressão linear entre a fração de água transpirável (FTSW) – variável independente e a condutância estomática (g_s) – variável dependente, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Respectivas equações, coeficiente de determinação (R^2)

Verifica-se que a g_s decresce com menores teores de FTSW. Ou seja, o valor da g_s é tanto menor quanto menor é a disponibilidade hídrica, como já se tinha observado anteriormente. Estes resultados sugerem que, nas condições do ensaio, a casta

“Touriga Nacional” possui um elevado controlo da abertura dos estomas em condições de carência em água do solo, tal como foi observado por Rodrigues (2011).

Na modalidade RDI, de acordo com o R^2 , o FTSW explica cerca de 69% a redução da condutância estomática, enquanto na modalidade SDI apenas explica 38%. Este resultado indica que em vinhas com maior stress hídrico esta relação poderia ser bastante útil na calendarização das regas, no entanto esta relação varia de ano para ano (Cuevas *et al.*, 2006; Rodrigues, 2011). Segundo os mesmo autores esta variabilidade está relacionada com dependência destes parâmetros em relação a outros factores como a temperatura, o VPD e a própria planta. A solução poderá passar pela compilação de dados de vários anos.

7. Crescimento vegetativo

7.1 Área foliar

A quantificação da área foliar e a sua distribuição na sebe, constituem dois parâmetros de análise com grande importância (Smart e Robinson, 1991). Champagnol (1984) considera que a área foliar e o crescimento dos sarmentos são a expressão essencial do vigor, uma vez que reflectem a velocidade do crescimento e a sua duração, em relação à capacidade de síntese de substâncias metabólicas.

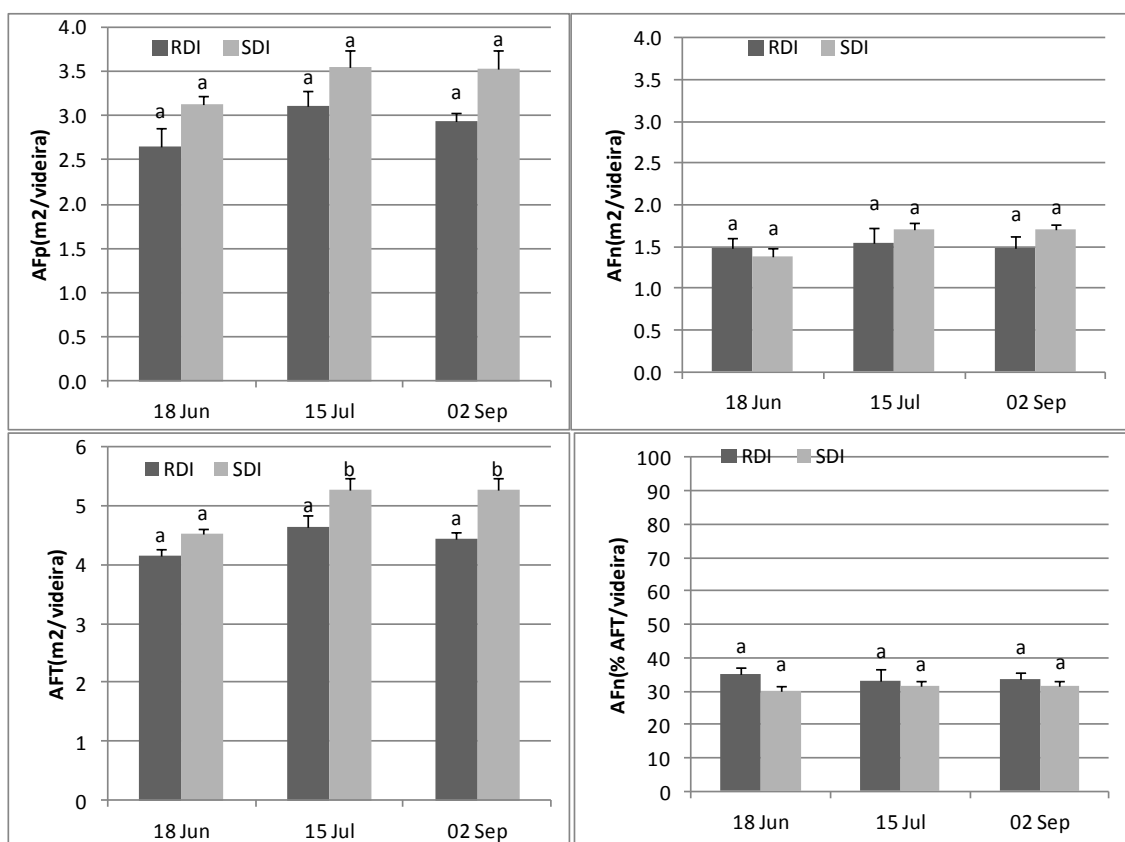


Figura 16 – Área foliar principal (AFp), área foliar das netas (Afn), área foliar principal e % de área foliar por videira, em três períodos distintos, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). Média dos registos efectuados por tratamento e respectivo erro padrão. Em cada período, as letras, quando diferentes, indicam que difere significativamente ($p < 0,05$).

Procedendo à análise de variância para os diversos parâmetros e datas apresentados na figura 16, verificou-se que em qualquer das datas a modalidade SDI apresentou uma área foliar total (AFT) superior em relação à modalidade RDI, no entanto as diferenças só foram significativas nos dias 15 de Julho e 2 de Setembro.

Na primeira medição no dia 18 de Junho, a modalidade SDI tinha sido regada pela primeira vez no dia 14 de Junho com 17,6 mm, sendo esta a única diferença entre tratamentos até este dia. Verifica-se que as videiras no SDI apresentam nesse dia uma área foliar principal (AFp) superior ao RDI. Por outro lado, registou-se no RDI uma maior área foliar das netas (AFn). A AFT ($AFT = AFp + AFn$) era superior no SDI, em relação ao RDI, devido à maior AFp.

Verifica-se que a área foliar principal aumentou na RDI e na SDI entre dia 18 de Junho e 15 de Julho, que corresponde ao período entre os estados fenológicos bago ervilha e fecho dos cachos. Neste período os valores de Ψ_{PD} não eram inibidores do crescimento vegetativo (Baeza *et al.*, 2007) no entanto o crescimento vegetativo neste período pode ter sido condicionado pela despona efectuada nos dias 27 e 28 de Junho.

Na modalidade RDI o crescimento das netas manteve-se inalterado (1,5m²/videira) durante o período de medições, enquanto na modalidade SDI se verificou um crescimento significativo das netas entre 18 de Junho e 15 de Julho (1,4 para 1,7 m²/videira) o que fez com que no dia 15 de Julho a AFT fosse significativamente diferente entre tratamentos. A maior disponibilidade hídrica das videiras no SDI nesta fase (Fig. 7) pode ter contribuído para esta diferença. Resultados semelhantes foram obtidos por Chaves *et al.* (2007) que verificaram que quanto maior é a dotação de rega, maior foi o aumento da AFn e consequentemente maior a AFT. Neste dia 15 de Julho registou-se o maior valor de AFT ao longo do ciclo com 4,6 e 5,3 m²/videira, na modalidade RDI e SDI respectivamente.

No dia 2 de Setembro (dia anterior à vindima), verificou-se um decréscimo da AFT, principalmente na modalidade RDI devido à senescência de algumas folhas basais, que originou uma menor AFp. Esta perda de folhas na fase final do ciclo é consequência da menor disponibilidade hídrica no RDI como se observou pelo FTSW e Ψ_{PD} e também uma característica natural da casta Touriga Nacional. Monteiro *et al.* (2007) já tinham verificado anteriormente que os efeitos da rega na fase final do ciclo resultaram numa menor taxa de senescência das folhas e na manutenção da área foliar activa durante a maturação e durante mais tempo após a vindima, nas plantas com maior disponibilidade em água no solo. A AFT tal como na medição anterior foi significativamente superior na modalidade SDI comparativamente à RDI.

Os resultados obtidos sugerem então que a modalidade SDI ao disponibilizar mais água às videiras, o que fez com que o Ψ_{PD} nunca baixasse a valores que inibam o crescimento (Baeza *et al.*, 2007), promoveu um maior crescimento vegetativo e um crescimento das netas mais prolongado, o que com o evoluir do ciclo resultou numa maior AFT. A maior disponibilidade hídrica na fase final do ciclo promoveu igualmente uma menor taxa de senescência das folhas principais.

7.2 Dimensões da sebe e Superfície foliar exposta

Partindo do princípio que as folhas bem iluminadas são aquelas que apresentam maior potencial fotossintético, a superfície foliar exposta SFE ao representar a área de folhas directamente expostas à radiação, poderá ser tomada como uma boa medida da capacidade fotossintética de uma videira. A importância desta medida é referida por Carbonneau (1995) e este autor realça ainda que este é o parâmetro arquitectural mais simples de obter e com melhor relação com a qualidade de produção. Smart e Robinson (1991) consideram que o rendimento que uma vinha pode atingir está essencialmente dependente da sua SFE.

Quadro 3 - Dimensões do coberto e superfície foliar exposta (SFE), em dois períodos distintos nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI). (níveis de significância: * 0,05; ** 0,01; *** 0,001).

Data	Tratamento	Altura sebe (cm)	Espessura sebe (cm)	SFE (m ² /ha)
21-08-2013	SDI	121.5	42.1	9499.2
	RDI	119.4	42.4	9371.2
	Sig.	n.s.	n.s.	n.s.
02-09-2013	SDI	122.0	38.2	9406.3
	RDI	120.5	38.3	9310.0
	Sig.	n.s.	n.s.	n.s.
Entre medições (RDI e SDI)	Sig	n.s.	*	n.s.

Através da análise estatística constatou-se que não houve diferenças significativas entre tratamentos, em ambas as datas de medição (quadro 3). Verificou-se ainda que entre medições não existem diferenças significativas na SFE e na altura da sebe, contudo ao nível da espessura da sebe observou-se uma diminuição significativa, nas duas modalidades, entre a meia maturação e a vindima.

A altura da sebe foi ligeiramente inferior no RDI comparativamente ao SDI nas duas medições. Duret (cit. em Costa-Rodrigues, 2009) afirma que a altura da sebe deve ter cerca de 130 cm com o objectivo de obter uma SFE de qualidade. Neste estudo os

valores registados encontram-se sensivelmente 10 cm abaixo dos valores preconizados por aquele autor.

A espessura média da sebe foi semelhante entre tratamentos nas duas datas em que se efectuaram registos. No dia 2 de Setembro verifica-se uma ligeira diminuição (não significativa) na espessura média, em relação à medição anterior, o que pode ser resultado da senescência de algumas folhas basais na fase final do ciclo.

A SFE foi ligeiramente inferior no RDI comparativamente ao SDI, mas esta diferença não é significativa. Entre medições apesar de se verificar uma ligeira diminuição da SFE em ambos os tratamentos, sobretudo devido à menor espessura da sebe no dia 2 de Setembro, esta também não é significativa.

Smart e Robinson (1991) propuseram uma SFE ideal com 21000 m²/ha, no entanto verificou-se que estes valores não são os mais adequados para monoplanos ascendentes nas nossas condições edafoclimáticas (Costa-Rodrigues, 2009). Argillier (cit. em Castro *et al.*, 2006) refere para monoplano ascendentes valores na ordem dos 11600 m²/ha como indicativos de vinhas com qualidade no clima mediterrânico. Os resultados obtidos neste estudo indicam que os valores de SFE apresentam-se abaixo dos ideais para as nossas condições.

7.3 Densidade do coberto vegetal

A densidade do coberto vegetal foi caracterizada através dos parâmetros obtidos pelo método “point quadrat” (Smart e Robinson, 1991) e que se encontram expressos em NCF, % de folhas interiores, % de cachos interiores, % de cachos expostos e % de buracos.

O quadro 4 apresenta os valores médios dos parâmetros caracterizadores da densidade do coberto vegetal ao nível dos cachos em duas medições correspondentes a duas fases fenológicas distintas. O dia 20 de Agosto reflecte o período de meia maturação e o dia 2 de Setembro, dia anterior à vindima, coincide com o final da maturação. Através da análise estatística verificou-se que não houve diferenças significativas dos vários parâmetros entre tratamentos para as duas datas de medições.

Na primeira medição o número de camadas de folhas (NCF) apresenta um valor superior (não significativo) no SDI em relação ao RDI, enquanto no final da maturação este parâmetro foi semelhante entre tratamentos. Smart e Robinson (1991) apontam valores entre 1,0 a 1,5 como indicadores de uma correcta exposição de folhas e cachos. No entanto, Castro e Cruz (2005) defendem valores ideais do NCF na ordem dos 2-3 para as nossas condições climáticas. Neste caso os valores de NCF obtidos neste estudo em ambos os tratamentos apresentam um valor adequado às nossas

condições. Os valores de NCF obtidos neste estudo em ambos os tratamentos são similares aos preconizados por Castro e Cruz (2005).

A percentagem de buracos na sebe serve como indicador da porosidade da sebe. Neste estudo registou-se 0% destes buracos em ambos os tratamentos e medições o que indica uma sebe densa, favorecendo assim o aparecimento de pragas e doenças.

A % de folhas interiores, em ambas as datas de medição, não diferem significativamente entre a modalidade SDI em relação à RDI. Os resultados obtidos são superiores ao valor óptimo de 20% sugerido por Smart e Robinson (1991).

Quadro 4 – Parâmetros que caracterizam o coberto vegetal, em dois períodos distintos, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI).

Data	Tratamento	NCF	% Buracos	% Folhas interiores	% Cachos exteriores
20-08-2013	SDI	2,5	0,0	31,4	30,2
	RDI	2,3	0,0	27,5	32,3
	Sig.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
02-09-2013	SDI	2,3	0,0	29,8	33,8
	RDI	2,3	0,0	27,2	34,8
	Sig.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

A % de cachos exteriores, nas duas datas de medição, não diferem significativamente entre a modalidade RDI e a SDI. Entre a meia maturação e o final da maturação verificou-se um aumento deste parâmetro. Tal pode ser resultado da senescência de algumas folhas basais no final do ciclo vegetativo, como já se tinha verificado na área foliar e dimensões do coberto vegetal. Uma maior exposição dos cachos por um lado pode promover um melhor arejamento, melhor exposição solar e um consequente aumento do teor de açúcares nos bagos (Vasconcelos e Castagnoli, 2000; Sereno, 2006). Por outro uma exposição excessiva pode provocar perdas de qualidade (essencialmente aromas), escaldão ou desidratação dos bagos (Castro *et al.*, 2006). Smart e Robinson (1991) propõem como intervalos ideais de 50 a 100% de cachos expostos. Como se observa no quadro 4 os valores de % de cachos expostos são efectivamente menores que os indicados por Smart e Robinson (1991).

7.4 Vigor

No quadro 5 estão representados os parâmetros caracterizadores da expressão vegetativa e vigor nas duas modalidades em estudo. Dos parâmetros analisados nenhum difere significativamente entre tratamentos.

O número total de sarmentos por metro linear foi semelhante entre tratamentos, o que já seria de esperar uma vez que este foi o primeiro ano do ensaio e por isso as videiras até à data do abrolhamento (estádio fenológico que define o número de

sarmentos) todas as videiras estiveram sujeitas às mesmas práticas culturais e regas. Smart *et al.* (1987) e Kliewer (1992) consideram que a densidade de sarmentos deve variar entre 15 a 20 sarmentos/m. Os valores registados foram um pouco inferiores aos ditos ideais.

O peso médio dos sarmentos foi também semelhante entre tratamentos. Os valores registados sugerem um vigor equilibrado de acordo com Smart e Robinson (1991), que indicam valores de 20 a 40g como valores óptimos.

Como consequência da semelhança dos parâmetros relativos aos sarmentos, o peso da lenha de poda foi igualmente semelhante entre tratamentos. Mais uma vez os resultados situam-se entre o intervalo de valores considerado por Smart e Robinson (1991) como ideal (0,3 a 0,6 Kg/m).

Estes resultados sugerem que as diferentes dotações de rega não condicionaram o vigor das videiras e no geral os resultados indicam que as videiras tinham um vigor equilibrado. No entanto há que assinalar que este foi o primeiro ano do ensaio e por isso no período após a vindima do ano anterior, em que a videira assimila reservas e na fase inicial de crescimento dos pâmpanos deste ano, não existia diferenças entre regas nas videiras.

Quadro 5 – Parâmetros que caracterizam o vigor da videira nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI).

Tratamento	Nº Total Sarmentos/m	Peso médio sarmento (g)	Peso Lenha (g)
SDI	12,4	39,7	490,9
RDI	12,4	39,5	488,4
<i>Sig.</i>	n.s.	n.s.	n.s.

7.5 Relações frutificação/vegetação

No quadro 6 estão representados três parâmetros que caracterizam o equilíbrio entre a frutificação e a vegetação nas diferentes modalidades, sendo eles: AF (área foliar) /produção, SFE/produção e índice de Ravaz (produção/lenha de poda). Para a determinação desta razão foram utilizados os valores de AF e SFE registados à meia maturação. Observa-se que nenhum dos três parâmetros analisados é significativamente diferente entre tratamentos.

A relação entre a área foliar/produção representa a área foliar necessária para produzir um quilograma de uva. Verifica-se que os valores no RDI são inferiores ao SDI, ou seja, as videiras no RDI necessitaram de uma menor área foliar para produzir um quilograma de uva. Champagnol (1984) indica como valores ideais 1 a 2 m²/Kg enquanto Smart e Robinson (1991) consideram valores ideais entre 0,6 a 1,5 m²/Kg.

Os valores registados neste estudo encontram-se entre ambos os intervalos sugeridos como óptimos.

A relação entre a SFE/Produção foi igual entre o RDI e o SDI. Os valores registados estão entre os 1,0 a 1,5 m²/kg defendidos por Smart e Robinson (1991). Os resultados indicam que a videira tinha estado equilibrada neste parâmetro.

Smart e Robinson (1991) preconizaram como valores ideais para o índice de Ravaz o intervalo de 5 a 10, sendo que os valores inferiores a 5 indicam vigor excessivo e, contrariamente, valores acima de 10 revelam sobreprodução. Contudo, deve-se ter algum cuidado em generalizar os valores obtidos, isto porque existe uma infinidade de combinações entre as duas variáveis caracterizadoras deste índice. É importante referir que os estudos de onde são extraídos estes “valores ideais” são normalmente retirados de vinhas vigorosas, com solos férteis e sem restrições hídricas, fora de contexto das zonas quentes e secas que caracterizam o local onde nos inserimos. No entanto, analisando os valores do RDI e SDI neste parâmetro, verifica-se que são novamente equivalentes e situam-se entre os valores considerados ideais.

Quadro 6 – Parâmetros caracterizadores do equilíbrio vegetativo/reprodutivo.

Tratamento	Área Foliar/Produção (m²/Kg)	SFE/Produção (m²/Kg)	Índice de Ravaz
SDI	1.4	1.1	5.3
RDI	1.2	1.1	5.3
<i>Sig.</i>	n.s.	n.s.	n.s.

8. Produção

No quadro 7 estão representados os parâmetros relativos à produção, nomeadamente o número de cachos por videira, peso médio dos cachos e produção por videira.

Verifica-se a inexistência de diferenças significativas no número de cachos por videira, o que era expectável pois o número de cachos é definido pela diferenciação floaral que ocorreu no ciclo vegetativo anterior, portanto antes da instalação do ensaio.

Quadro 7 - Parâmetros caracterizadores da produção nos dois tratamentos de rega (RDI e SDI).

Tratamento	Número cachos/videira	Peso médio cacho (g)	Produção/videira (kg)
SDI	28,9	135,5	3,9
RDI	29,0	133,4	3,9
<i>Sig.</i>	n.s.	n.s.	n.s.

O peso médio dos cachos também não difere significativamente entre tratamentos. Esta situação pode ser devido ao facto de somente após o pintor é que as videiras sentiram stress hídrico moderado a forte em ambos os tratamentos como se verificou através do Ψ_{PD} . Vários autores demonstraram que o crescimento do bago durante a fase I (fase de multiplicação celular – vingamento ao pintor) é mais sensível à disponibilidade hídrica do que na Fase III (fase de expansão celular – após o pintor). Ojeda *et al.* (2002); McCarthy (2000) e van Zil (1984) verificaram maior redução no peso final do bago em situações de stress hídrico na fase I do que em situações similares ocorridas na fase III de desenvolvimento.

Consequentemente a produção por videira foi também similar entre os diferentes regimes de rega.

9. Composição dos bagos

O quadro 8 apresenta os parâmetros qualitativos dos bagos à vindima, nomeadamente o grau Brix, acidez total, pH e antocianas totais na película. O grau Brix fornece a quantidade de sólidos solúveis presentes nos bagos, sendo que grande parte destes sólidos é representada pelos açúcares totais. Através da análise estatística, constata-se que a rega não surtiu um efeito significativo no $^{\circ}\text{Brix}$, sendo semelhante entre o RDI e o SDI.

Não se apresentam dados relativos à acidez total devido a problemas na sua determinação que; à data de elaboração desta dissertação, ainda não tinham sido resolvidos pela equipa do projecto.

O maior crescimento vegetativo que geralmente apresentam as videiras regadas pode estimular a produção de ácido málico através da fotossíntese, e consequentemente diminuir o pH (Hepner et al., 1985). Esse mesmo crescimento providencia um efeito de sombra na zona dos cachos, mantendo-os mais protegidos de um excesso de sol e num meio mais fresco, diminuindo a taxa de degradação do ácido málico na respiração, que é precisamente potenciada por temperaturas elevadas (Koundouras et al., 2006). Neste caso a maior área foliar na modalidade SDI poderá ter influenciado este parâmetro qualitativo, resultando num pH significativamente inferior no SDI, comparativamente ao RDI.

Quadro 8 – Parâmetros qualitativos dos bagos, nos dois tratamentos de rega (SDI e RDI).

Tratamento	° Brix	Acidez total		pH	Antocianinas totais (mg/g FW película)
		(g ác. Tartárico/ L mosto)			
SDI	22,3	-	3,46	224,4	
RDI	22,1	-	3,49	197,8	
<i>Sig.</i>	n.s.	-	*	n.s.	

Uma grande preocupação em termos de qualidade é sem dúvida o efeito que a rega tem sobre os polifenóis dos mostos e dos vinhos, em especial sobre o teor em antocianinas dos bagos, o que em grande medida condiciona a intensidade da cor (Dominguez, 2007). Neste caso em concreto não existem diferenças significativas no valor de antocianinas totais entre os mesmos.

IV. Conclusões

As considerações apresentadas devem ser entendidas com a reserva aconselhável a um trabalho que reflecte apenas um ciclo vegetativo da videira. Pelo que a sua generalização deve ser ponderada.

O ensaio foi fortemente condicionado pelas condições climáticas, nomeadamente pelo facto de quase toda a precipitação de 2013 ter ocorrido no período de dormência da videira, principalmente em Março, coincidindo com o início do ciclo vegetativo e que resultou numa elevada disponibilidade hídrica ($FTSW > 60\%$) até ao final de Junho (fecho dos cachos).

Esta situação aliada ao facto deste ser o primeiro ano do ensaio, o que significa que até ao começo da rega deste ano todas as videiras tinham sido sujeitas aos mesmos tratamentos, foi determinante no vigor, crescimento vegetativo e produção da videira, não se registando diferenças significativas na maioria dos parâmetros analisados. Apenas se verificou diferenças significativas na área foliar, sendo maior na SDI comparativamente à RDI, devido ao crescimento área foliar secundária (netas).

Na modalidade RDI entre o estágio fenológico bago de ervilha e o início do pintor apenas se observou crescimento vegetativo das folhas principais, enquanto na modalidade SDI além das folhas principais também houve crescimento das netas. O desenvolvimento das netas no SDI deveu-se essencialmente à maior disponibilidade hídrica ($FTSW$) e consequente menor stress hídrico. Constatou-se ainda que as videiras que estavam na modalidade RDI diminuíram a AFT na fase final do ciclo, o que se deve à perda de folhas principais.

No entanto através das dimensões do coberto, observou-se que a espessura da sebe diminuiu significativamente entre medições para os dois tratamentos, denunciando uma perda de folhas em ambos. Tendo em consideração o que foi realmente observado no campo, constatou-se de facto uma senescência das folhas basais na fase final do ciclo em ambos os tratamentos, mas com maior intensidade na modalidade RDI. Conclui-se que a maior disponibilidade hídrica na fase final do ciclo permite às videiras a manutenção das folhas durante mais tempo e durante a fase de crescimento vegetativo induz ao crescimento das netas.

Ao nível da fisiologia da videira, verificou-se que o potencial foliar hídrico ao meio dia não era um bom indicador sobre o estado hídrico da planta devido ao comportamento isohídrico que a casta “Touriga Nacional” apresentou neste estudo. O potencial do caule permitiu observar que independentemente da existência de água disponível no solo, a videira quando sujeita a elevadas temperaturas e VPD pode não ter a capacidade de extrair a quantidade de água necessária para a transpiração e consequentemente sentir um stress hídrico severo momentâneo (durante as horas de

maior temperatura e VPD) o que pode restringir o crescimento vegetativo. O potencial hídrico do caule também evidenciou a possibilidade da planta extrair água de camadas mais profundas que os 90 cm em que analisámos o teor de água no solo. Este último ponto pode ser importante para futuras análises nesta parcela.

Através do potencial hídrico foliar de base verificou-se que apenas cerca de uma semana antes do pintor é que as plantas na modalidade RDI começaram a sentir algum stress hídrico moderado. Já na modalidade SDI somente ao pintor é que se registaram valores de stress hídrico moderado. Constatou-se ainda que as videiras na RDI geralmente apresentaram valores mais negativos do que a SDI ao longo de todo o ciclo, com maior evidência nas últimas duas semanas que antecederam a vindima. Segundo os valores de referência para este parâmetro, existentes na bibliografia, seria de esperar que o crescimento vegetativo na modalidade SDI não fosse restringido pela rega, ao contrário da RDI, o que até certo ponto se verificou pelo maior crescimento das netas, mas no geral não se notaram diferenças significativas como já foi referido. Seria ainda esperado, pelas diferentes evoluções do potencial hídrico foliar de base ao longo do ciclo vegetativo, que as modalidades originassem uvas, no entanto tendo em consideração as análises qualitativas aos bagos, tal não se verificou. Apenas se detectaram diferenças significativas entre o pH, sendo superior na modalidade RDI.

Assim pode-se deduzir que os valores de referência podem de certa forma orientar o viticultor a atingir os objectivos pretendidos, porém estes não são uma verdade absoluta. Os anos são distintos entre si e sendo a videira uma planta bastante adaptável às condições que a rodeiam é fundamental complementar a medição deste parâmetro com outros dados fisiológicos ou agronómicos e principalmente acompanhar permanentemente e de perto a evolução das videiras ao longo de todo o ciclo na vinha.

Verificou-se ainda que o potencial hídrico foliar de base reflecte o potencial hídrico do solo. Este poderá ser um ponto importante para as explorações comerciais, uma vez que através da medição da água no solo, que pode ser efectuada durante o horário de expediente, poderão ter uma avaliação sobre o estado hídrico da planta e ajustar melhor a calendarização da rega. No entanto esta relação carece de um estudo mais aprofundado nesta vinha.

Ao nível das trocas gasosas verificou-se que a condutância estomática é dependente da disponibilidade hídrica no solo. Quanto mais água existir, mais abertos estão os estomas e vice-versa o que sugere que, nas condições do ensaio, a casta “Touriga Nacional” demonstra possuir um elevado controlo da abertura dos estomas em condições de carência de água no solo. No entanto observou-se que o aumento da disponibilidade hídrica para a planta não afecta tão marcadamente a fotossíntese,

denunciando uma gestão da água menos eficiente, com proporcionalmente maiores perdas por transpiração nas videiras regadas e tanto mais quanto maior a quantidade de água aplicada o que resulta consequentemente numa menor eficiência intrínseca do uso da água. Assim as videiras que receberam menos água ao longo do ciclo (RDI), apresentaram uma melhor WUE_i , o que é importante face à crescente preocupação com as alterações climáticas e consequente aumento da escassez da água. Ainda pra mais, segundo o Ministério da Agricultura, o próximo Programa de Desenvolvimento Rural prevê incentivos de apoio aos agricultores que poupem mais água.

Em suma, o presente estudo revelou resultados que podem ser bastante interessantes a nível científico e, talvez até mais, a nível comercial. Neste estudo, durante este ano nas videiras em que se utilizou a modalidade RDI poupou-se metade da água relativamente aquelas em que se usou a modalidade SDI. Esta modalidade, que designamos por SDI corresponde à dotação de rega habitualmente utilizada pela exploração, neste caso a Herdade do Esporão. No final os resultados de uma forma geral são bastante semelhantes em termos qualitativos e quantitativos, o que resulta numa melhor eficiência do uso da água de rega e no que a bibliografia refere como *“more crop per drop”*. Além de ser relevante ao nível da componente ambiental, em termos financeiros pode também ser bastante significativo para a empresa.

No entanto, como referi no início destas conclusões, deve-se ter em consideração que este trabalho reflecte apenas um ciclo vegetativo da videira e apesar de já existirem vários estudos com resultados semelhantes aos aqui obtidos, há que ser prudente e não generalizar os mesmos, mas sim aprofundar este estudo, nesta vinha e casta, neste *“terroir”* específico de modo a obter resultados mais robustos e com isso tomar as melhores decisões relativamente à gestão da rega nesta parcela. Certamente será um estudo a efectuar noutras castas e parcelas com diferentes particularidades edafo-climáticas presentes na herdade, de forma a otimizar o conhecimento e consequentemente todo o sistema de rega na exploração.

V. Bibliografia

- Archer, E. & Strauss, H.C., 1985. Effect of plant density on root distribution of three-year-old grafted 99 Richter grapevines. *S. Afr. J. Enol. Vitic.* **6**, 25 - 30.
- Baeza, P.; Sanchez-De-Miguel, P.; Centeno, A.; Junquera, P.; Linares, R.; Lissarrague, J.R., 2007. Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling. *Scientia Horticulturae*, **114** (3): 151-158.
- Bartolomé, M. C.; 1993: Respuestas de la vid (V. vinifera L.) a condiciones de estrés hídrico: Efectos sobre las relaciones agua-planta, el crecimiento, la producción y la calidad (cv. Tempranillo). Doc. Diss., Madrid Polytechnic Univ., Spain.
- Becker, N.; Zimmermann, H., 1984. Influence de divers apport's d'eau sur des vignes en pots, sur la maturation des sarments, de développement des baies et la qualité des vins. *Bull.de l'OIV*, **57**: 573-683.
- Bondada, B. e Shutthanandan J. 2012. Understanding Differential Responses of Grapevine (*Vitis vinifera* L.) Leaf and Fruit to Water Stress and Recovery Following Re-Watering. *American Journal of Plant Sciences*, 3, 1232-1240
- Bota J, Flexas J, Medrano H. 2001. Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. *Annals of Applied Biology* **138**: 353-361.
- Botelho-da-Costa, J.V. 1995. Caracterização e constituição do solo. Fundação Calouste Gulbenkian, 5ª edição, Lisboa, 527pp.
- Castro, R.; Cruz, A.; Botelho, M. (2006). Tecnologia Vitícola. Ministério da Agricultura, Pescas e Florestas/Direcção Geral de Agricultura da Beira Litoral/Comissão Vitivinícola da Bairrada, Coimbra, 160 pp.
- Candolfi-Vasconcelos M.C., Candolfi M.P.,Koblet W., 1994. Retranslocation of carbon reserves from the woody storage tissues into the fruit as a response to defoliation stress during the ripening period in *Vitis vinifera* L. *Planta*;**192**:567-573.
- Carbonneau, A., Casteran, P. 1979. Irrigation-depressing effect on floral initiation of Cabernet Sauvignon grapevines in Bordeaux area. *Am. J. Enol. Vitic.*, **30** (1): 3-7.
- Carbonneau, A., 1985. The early selection of grapevine resistant rootstocks for resistance to drought conditions. *American Journal of Enology and Viticulture* **36** 195-198

- Carbonneau, A.1998. Vignobles méditerranéens : des malentendus a rectifier. *Progrès Agricole et Viticole*, **115** (21): 456-458.
- Carbonneau A. 2002. Gestion de l'eau dans le vignoble: théorie et pratique. *Le Progrès Agricole et Viticole* **21**: 455-467.
- Carey, V.A., 2001. Spatial Characteristics of Natural Terroir Units for Viticulture in the Bottelaryberg-Simonsberg-Helderberg Winegrowing Area. MSc Agric thesis, Stellenbosch University, Stellenbosch.
- Carrante, V. 1963. Résistance de la vigne à la sécheresse. *Bull. de l'O.I.V.*, **36**: 141-168.
- Castellarin, S.D., Matthews, M.A., Di-Gaspero, G., Gambetta, G.A. 2007. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta*, **227** (1): 101-112.
- Champagnol, F., 1984. Eléments de physiologie de la vigne et de viticulture general. Ed, Auteur, Montpellier, 351 pp.
- Chavarria, G., Santos, H.P., Felippeto, J., Marodin, G.A.B., Bergamaschi, H., Cardoso, L.S., Fialho, F.B. 2008. Relações hídricas e trocas gasosas em vinhedo sob cobertura plástica. *Rev. Bras. Frutic.*, **30** (4): 1022-1029.
- Chaves, M. M. , 1986. Fotossíntese e repartição dos produtos de assimilação em *Vitis vinifera* L. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa. Tese de Doutoramento.
- Chaves, M.M.; Santos, T.P.; Souza, C.R.; Ortuno, M.F.; Rodrigues, M.L.; Lopes, C.M.; Maroco, J.P.; Pereira, J.S., 2007. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. *Annals of applied biology*, **150** (2): 237-252.
- Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, JM, Santos, T, Regalado, AP, Rodrigues, ML, Lopes, CM., 2010. Deficit irrigation in Mediterranean environment. What lessons have we learnt from grapevine studies? Libro de Actas - X Simposium Hispano Português de Relaciones Hídricas
- Choné, X.; Van Leeuwen, C.; Dubourdieu, D.; Gaudillère, J.P., 2001. Stem Water Potential is a Sensitive Indicator of Grapevine Water Status. *Ann. Bot.*, **87**: 477-483.
- Cifre, J.; Bota, J.; Escalona, J.M.; Medrano, H.; Flexas, J., 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinifera* L.): An open gate to improve water-use efficiency?. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **106** (2-3): 159-170.

- Conradie, W. J . 1988. Effect of soil acidity on grapevine root growth and the role of roots as a source of nutrient reserves. **In** : The grapevine root and its environment . Ed. Van Zyl, J. L. Pretoria, South Africa
- Costa-Rodrigues, C., 2009. Estratégias de gestão do coberto vegetal e da produção na casta Touriga-Nacional na Região do Dão. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, 78 pp.
- Cuevas, E., Baeza, P., Lissarrague, J.R. 1998. Effects of 4 moderate water regimes on seasonal changes in vineyard evapotranspiration and dry matter production under semi-arid conditions. *Acta Hort.* (ISHS), **493**: 253-260.
- De la Hera ML, Romero P, Gómez-Plaza E, Martinez A. 2007. Is partial root-zone drying an effective irrigation technique to improve water use efficiency and fruit quality in field-grown wine grapes under semiarid conditions? *Agricultural Water Management* **87**: 261-274.
- Deloire, A.; Ojeda, H.; Zebic, O.; Bernard, N.; Hunter, J.-J.; Carbonneau, A. (2005). Influence de l'état hydrique de la vigne sur le style de vin. *Progrès Agricole et Viticole*, **122** (21): 455–462.
- Dry, P.R., 2005. Use of irrigation strategies for maximization of water use efficiency and wine quality in Australia. **In**: Proceedings of the International Symposium on Irrigation Management in Wine and Table Grape Vineyards, INIA , Santiago, Chile, pp. 15–22
- Dry, P.R.; Loveys, B.R., 1998. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Aus. J. Grape and Wine Research*, **4** (3): 140-148.
- Dry, P.R.; Loveys, B.R.; McCarthy, M.G.; Stoll, M., 2001. Strategic irrigation management in *Australian vineyards*. *J. Int. Science Vigne Vin*, **35**: 129-139.
- Doorenbos, J., Kassan, A.H., Bentvelsen, C.L.M., Branscheid, V., Plusjé, J.M.G.A., Smith, M., Uittenbogaard, G.O., Van der Wal, H.K. 1986. Yield response to water. FAO *Irrigation and Drainage*, **33**, Rome.
- Esteban, M.A., Villanueva, M.J., Lissarrague, J.R. 2001. Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv Tempranillo (*Vitis vinifera* L) grape berries during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **81** (4): 409-420.
- Falcetti, M. 1994. Le terroir. Qu'est-ce qu'un terroir? Pourquoi l'étudier? Pourquoi l'enseigner? *Bull. de l'OIV* , **67**(2):246-275.

- Ferreira, R.E.; Sellés, G.; Peralta, J.; Burgos, L.; Valenzuela, J., 2002. Efectos de la restricción del riego en distintos períodos de desarrollo de la vid cv. Cabernet sauvignon sobre producción y calidad del vino. *Agricultura Técnica*, **62**(3): 406-417.
- Flexas, J.; Escalona, J.M.; Medrano, H., 1999. Water stress induces different levels of photosynthesis and electron transport rate regulations in grapevines. *Plant, Cell and Environment*, **22**: 39-48.
- Flexas, J., Bota, J., Cifre, J., Escalona, J.M., Galmés, J., Gulías, J., Lefi, E.-K., Martínez-Cañellas, S.F., Moreno, M.T., Ribas-Carbó, M., Riera, D., Sampol, B., Medrano, H. 2004. Understanding down-regulation of photosynthesis under water stress: future prospects and searching for physiological tools for irrigation management. *Ann. appl. Biol.*, **144**: 273-283.
- Fregoni, M. 1999. Viticoltura di Qualità. Edizioni l'Informatore Agrario S.r.l, 2ª edizione, pp. 579-612, Verona.
- Gaudillière, J.P., Van Leeuwen, C., Ollat, N. 2002. Carbon isotope composition of sugars in grapevine, an integrated indicator of vineyard water status. *Journal of Experimental Botany*, **53** (369): 757-763.
- Gladstones, J., 1992. Viticulture and Environment. Winetitles. Adelaide. p.8-33, 72-78
- Gómez-del-Campo M., Ruiz C., Baeza P., Lissarrague J.R., 2003. Drought adaptation strategies of four grapevine cultivars (*Vitis vinifera* L.): modification of the properties of the leaf area. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, **37**, 131–143
- Gouveia, J., Rodrigues, P., Pedrosa, V., Marques F., Alves, F., Lopes, C., 2013. Effects of the atmospheric vapour pressure deficit and soil water availability on the diurnal pattern of grapevine stem water potential. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, **28**: 70-74
- Grant, O.M., Troninal, L., Jones, H.G., Chaves, M.M. 2007. Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes. *Journal of Experimental Botany*, **58** (4): 815–825.
- Greer D.H. e Weedon M.M. 2013. The impact of high temperatures on *Vitis vinifera* cv Semillon grapevine performance and berry ripening. *Front Plant Sci.* 2013; 4: 491. Doi: 10.3389/fpls.2012.00491
- Grimes, D.W., Williams, L.E. 1990. Irrigation effects on plant water relations and productivity of Thompson Seedless grapevines. *Crop Sci.*, **30**: 255-260.
- Gurovich, L.; Vergara, L.M. (2005). Riego deficitario controlado: la clave para la expresión del terroir de vinos premium. **In:** Seminario Internacional de Manejo de Riego y Suelo en

- Vides para Vino y Mesa, 1, 2005, Santiago. Proceedings. Santiago: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 30p.
- Hendrickson, L., Ball, M.C., Wood, J.T., Chow, W.S., Furbank, R.T. 2004. Low temperature effects on photosynthesis and growth of grapevine. *Plant, Cell and Environment*, **27**: 795–809.
- Hepner, Y., Bravdo, B., Loinger, C., Cohen, S. and Tabacman, H. 1985. Effect of drip irrigation schedules on growth, yield, must composition and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Am. J. Enol. Vitic.*, **36**: 77-85
- Hidalgo, L. 2002. Tratado de Viticultura General, Mundi Prensa Libros S.A, 3a edicion, pp. 775-792. Madrid.
- Hsiao, T.C., Xu, L.-K. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *J. Exp. Botany.*, **51** (350): 1595-1616.
- Huglin, P., Schneider, C. 1998. *Biologie et Écologie de la Vigne*. Technique & Documentation, 2^e édition, 370 pp, Paris.
- Hunter, J.J. & Bonnardot, V., 2002. Climatic Requirements of Optimal Physiological Processes: A factor in Viticultural Zoning. In: *Proc. 4th International Symposium on Viticultural Zoning*, 17-20 June 2002, Avignon, France, p.553- 565.
- Iacono, F., Buccella, A., Peterlunger, E. 1998. Water stress and rootstock influence on leaf gas exchange of grafted and ungrafted grapevines. *Scientia Horticulturae*, **75**: 27-39.
- Intrigliolo, D.S., Ferrer, P.J., Castel, J.R. 2007. Monitorización del riego en vid. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 85-113, Madrid.
- Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2009. Response of *Vitis vinifera* cv. 'Tempranillo' to partial rootzone drying in the field: Water relations, growth, yield and fruit and wine quality. *Agric. Water Manag.*, **96**: 282-292
- Intrigliolo, D.S., Lakso, A.N., Piccioni, R.M. 2009. Grapevine cv. 'Riesling' water use in the north-eastern United States. *Irrig. Sci.*, **27**: 253–262.
- Keller, M. 2005. Irrigation strategies of white and red grapes. Vinidea.net, wine technical journal, nº.7.
- Kliewer, W.M., Freedman, B.M., Hossom, C. 1983. Effect of irrigation, crop level and potassium fertilization on Carignane vines. I. Degree of water stress and effect on growth and yield. *Am. J. Enol. Vitic.* **27**: 55-61.

- Koundouras, S., Van Leeuwen, C., Seguin, G., Glories, Y. 1999. Influence de l'alimentation en eau sur la croissance de la vigne, la maturation des raisins et les caractéristiques des vins en zone méditerranéenne (exemple de Némée, Grèce, cépage Saint-Georges, 1997). *J. int. Sci. Vigne et Vin*, **33**: 149-160.
- Koundouras, S., Marinos, V., Gkoulioti, A., Kotseridis, Y., Van Leeuwen, C. 2006. Influence of Vineyard Location and Vine Water Status on Fruit Maturation of Nonirrigated Cv. Agiorgitiko (*Vitis vinifera* L.). Effects on Wine Phenolic and Aroma Components. *J. Agric. Food Chem.*, **54**: 5077-5086.
- Koundouras, S., Tsialtas, I.T., Zioziou, E., Nikolaou, N., 2008. Rootstock effects on the adaptive strategies of grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet-Sauvignon) under contrasting water status: leaf physiological and structural responses. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **128**, p.86-96.
- Krauter, C. 2001a. Environmental factors that influence grapevine water requirements. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp. 44-49.
- Krauter, C. 2001b. Soil basics. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp 50-53.
- Kriedemann, P.E.; Goodwin, I., 2003. Regulated deficit irrigation and partial rootzone drying: an overview of principles and applications. *Irrigation Insights*, **4**, Land & Water. Australia.
- Liu, W.T., Wenkert, W., Allen, L.H., Lemon, E.R. 1978. Soil-plant water relations in a New York vineyard: Resistances to water movement. *J.Am. Soc. Hort. Sci.*, 103: 226- 230.
- Lopes, C., 1994. Influência do sistema de condução no microclima do coberto, vigor e produtividade da videira (*Vitis vinifera*, L.). Dissertação de Doutoramento. UTL, ISA, Lisboa. 205 p.
- Lopes, C.; Pinto, P.A., 2005. Easy and accurate estimation of grapevine leaf area with simple mathematical models. *Vitis*, **44** (2): 55–61.
- Lopes, J., Eiras-Dias, J.E., Abreu, F., Clímaco, P., Cunha, J.P., Silvestre, J. 2008. Exigências térmicas, duração e precocidade de estados fenológicos de castas da colecção ampelográfica nacional. *Ciência Téc. Vitiv.*, **23** (1): 61-71.
- Lovisolo, C. and A. Schubert. 1998. Effects of water stress on vessel size and xylem specific hydraulic conductivity in *Vitis vinifera* L. *J. Exp. Bot.* **49**:693–700.
- Lovisolo, C., W. Hartung e A. Schubert, 2002. "Whole-Plant Hydraulic Conductance and Root-to-Shoot Flow of Ab-scisic Acid Are Independently Affected by Water Stress in Grapevines," *Functional Plant Biology*, Vol. 29, No. 11, pp. 1349-1356.

- Lovisolo C, Perrone I, Carra A, Ferrandino A, Flexas J, Medrano H, Schubert A., 2010. Drought induced changes in development and function of grapevine (*Vitis* spp.) organs and in their hydraulic and non hydraulic interactions at the whole plant level: a physiological and molecular update. *Funct. Plant Biol.* **37**: 98-116
- Lu, P., Yunusa, I.A.M., Walker, RR, Müller, W.J. 2003. Regulation of canopy conductance and transpiration and their modelling in irrigated vineyards. *Functional Plant Biology*, **30**: 689–698.
- McCarthy M.G., 1997. The effect of transient water deficit on berry development of cv Shiraz (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **3**, 102–108.
- Magalhães, N.P. 2008. *Tratado de Viticultura – A videira, a vinha e o “terroir”*. Chaves Ferreira Publicações S.A., 1ª ed., Lisboa, 605 pp.
- Matthews, M. A., Anderson, M. M., 1988. Fruit Ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to Seasonal Water Deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* **39** (4): 313-320.
- Matthews, M.A., Anderson, M.M. (1989). Reproductive Development in Grape (*Vitis vinifera* L.): Responses to Seasonal Water Deficits. *Am. J. Enol. Vitic.* **40** (1): 52-60.
- Matthews, M.A., Ishii, R., Anderson, M.M., O'Mahony, M. 1990. Dependence of wine sensory attributes on vine water status. *J. Sci. Food Agri.*, **51**: 321-335.
- Medrano, H., Escalona, J.M., Bota, J., Gulías, J., Flexas, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: the interest of stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, **89**: 895-905.
- Medrano, H., Escalona, J.M., Flexas, J. 2007. Indicadores integradores del estado hídrico de la planta. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 15-34, Madrid.
- Myburgh P.A., 1998. Water consumption of South African vineyards: A modeling approach based on the quantified combined effects of selected viticultural, soil and meteorological parameters. PhD dissertation, Stellenbosch University, Private bag XI, 7602 Matieland (Stellenbosch), South Africa.
- Myburgh, P.A. 2003. Responses of *Vitis vinifera* L. cv. Sultanina to water deficits during various pre- and post-harvest phases under semi-arid conditions. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, **24** (1): 25-33.
- Myburgh, P. A., 2004. Determining grapevine canopy effects on effective rainfall in vineyards. *S. Afr. J. Enol. Vitic.*, **25**, 33-35.

- Monteiro, A., Lopes, C.M. 2007. Influence of cover crop on water use and performance of vineyard in Mediterranean Portugal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **121**: 336–342.
- Mota T., Garrido J., 2001. *Implantação Da Vinha. Castas, Porta-enxertos, Sistemas de Condução e Plantação*. Manual Técnico, CVRVV-EVAG, Arcos de Valdevez
- Moutinho-Pereira, J.M. 2000. Caracterização fisiológica e agronómica de diferentes estratégias culturais para minimizar o stress estival em *Vitis vinifera* L. na Região Demarcada do Douro. Tese de Doutoramento. UTAD, Vila Real.
- Ojeda H. 2007. La ingeniería inversa en viticultura. Aplicación para la adaptación a un entorno cambiante. **In:** VII Foro Mundial del Vino, 12-14 de maio de 2010. Unité Expérimentale de Pech Rouge. Innovación y diversification en viticultura y enología. 47p
- Ojeda, H., Andary, C., Kraeva, E., Carbonneau, A. e Deloire, A., 2002. Influence of pre-and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *Am. J. Enol. Vitic.* **53**(4): 261-267.
- Pacheco, C.M.A., 2008. Rega Deficitária em Vinha – Critérios de Condução da Rega Compatíveis com a Qualidade da Produção. Relatório final do projecto FEOGA - Eixo Prioritário IV – PEDIZA II / Medida 4 / Acção 2.2, nº 2005.64.003787.4. Lisboa. 130 p.
- Padgett-Johnson, M., Williams, L.E., Walker, M.A., 2003. Vine water relations, gas exchange, and vegetative growth of seventeen *Vitis* species grown under irrigated and nonirrigated conditions in California. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **128**, 269–276.
- Paranychiakis, N.V. , Aggelides, S., Angelakis, A.N. 2004. Influence of rootstock, irrigation level and recycled water on growth and yield of Sultanina grapevines. *Agricultural Water Management*, **69** (1): 13-27.
- Patakas, A., Noitsakis, B., Stavrakas, D., 1997. Adaptation to seasonal drought in *Vitis vinifera* L. as affected by leaf age. *Vitis* **36** (1), 11–14.
- Payan, J.C., García de Cortázar Atauri, I., Seguin, B. 2006. Ressource en eau et changement climatique: une problématique? Les Entretiens Viti-Vinicoles Rhône- Méditerranée 2006, Gruissan, France.
- Payan, J.C., Salançon, E., García de Cortázar Atauri, I., Jacquet, O. 2008. Changement climatique, évolution des rendements et irrigation. Les Entretiens Viti-Vinicoles Rhône-Méditerranée 2008. France.

- Pastori, G.M., Foyer, C.H. 2002. Common Components, Networks, and Pathways of Cross-Tolerance to Stress. The Central Role of “Redox” and Abscissic Acid-Mediated Controls. *Plant Physiology*, **129**: 460-468.
- Prichard, T. L. 1992. Water relations of vine grapes. In *Viticultural Practices*. Ed. M. A. Walker & W. M. Kliewer, W. M. instructors. U. California. Davies. Spring. Pp.12-23
- Prichard, T., 2003. Winegrape irrigation scheduling using deficit irrigation techniques. Winegrape Short Course. 19 p.
- Ramos, M.C. 2005. Soil water content and yield variability in vineyards of Mediterranean northeastern Spain affected by mechanization and climate variability. *Hydrological Processes*, **20** (11): 2271-2283.
- Ramos, M.C., Martínez-Casasnovas, J.A. 2006. Impact of land levelling on soil moisture and runoff variability in vineyards under different rainfall distributions in a Mediterranean climate and its influence on crop productivity. *Journal of Hydrology*, **321**: 131-146.
- Reynier, A. 1986. Manual de Viticultura (2ª edição). Publicações Europa-América, Mem Martins, Portugal.
- Rodrigues, P., Pedroso, V. Gouveia, J.P., Martins, S. Lopes, C.M., and Alves, I. 2012. Influence of soil water content and-rooted vineyards. *Irrigation Sci.* **30**:407 417.
- Rodrigues, P., 2011. Influência do regime hídrico e da rega no comportamento da casta Touriga nacional na Região do Dão, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Tese de Doutoramento, Lisboa
- Rodrigues, M. L., Santos, T. P., Rodrigues, A. P., Souza, C. R. , Lopes, C. M., Maroco, J. P., Pereira, J. S.e Chaves, M. M., 2008. “Hydraulic and Chemical Signalling in the Regulation of Stomatal Conductance and Plant Water Use in Field Grapevines Growing under Deficit Irrigation,” *Functional Plant Biology*, Vol. 35, No. 7, pp. 565- 579.
- Roux, F.A. 2005. Die Invloed van Spesifieke Grond en Klimaats Parameters op Wingerdprestasie, Wynkwaliteit en Karakter. MSc Agric thesis. Stellenbosch University, Stellenbosch.
- Santesteban, L.G., Miranda, C., Royo, J.B., 2011. Regulated deficit irrigation effects on growth, yield, grape quality and individual anthocyanin composition in *Vitis vinifera* L. cv. ‘Tempranillo’. *Agricultural Water Management* **98**, 1171–1179.
- Santos T.P., dos Lopes CM, Rodrigues ML, Souza CR, de Maroco JP, Pereira JS, Silva JR, Chaves MM. 2003. Partial rootzone drying: effects on growth and fruit quality of field-grown grapevines (*Vitis vinifera*). *Functional Plant Biology* **30**:663 –671.

- Santos, T.P., Lopes, C.M., Rodrigues, M.L., Souza, C.R., Ricardo-da-Silva, J.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S., Chaves, M.M. 2007. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines. *Scientia Horticulturae*, **112**: 321-330.
- Seguin, G. 1986. "Terroirs" and pedology of vine growing. *Experientia* **42**: 861-873.
- Seguin, G., 1988. Ecosystems of the great red wines produced in the maritime climate of Bordeaux, in: L. FULLER-PERRINE (ed.) *Proceedings of the Symposium on Maritime Climate Winegrowing*. Geneva, NY: Department of Horticultural Sciences, Cornell University. Somerville, C. and J. Briscoe. 2001. Genetic engineering and water. *Sci.*, 292: 2217.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingen, A.E. (1965). Sap pressure in vascular plants. *Science*, **148** (3668): 339-346.
- Schultz, H. R., 2003. Extension of the farquhar model for limitations of leaf photosynthesis induced by light environment, phenology and leaf age in grapevines (*Vitis vinifera* L. cv. White Riesling and Zinfandel). *Funct. Plant. Biol.* **30**: 637-687
- Schultz H.R., 2000. Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV B effects. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, **6**, 2–12.
- Schultz, H.R., Matthews, M.A. 1993. Growth, osmotic adjustment and cell-wall mechanics of expanding grape leaves during water deficits. *Crop Science*, **33**: 287-294.
- Schultz H. R., Matthews M. A., 1997. High vapour pressure deficit exacerbates xylem cavitation and photoinhibition in shadegrown Piper auritum H.B. & K. during prolonged sunflecks. I. Dynamics of plant water relations. *Oecologia* **110**, pp.312–319
- Schultz, H.R. and M.A. Matthews. 1988. Vegetative growth distribution during water deficits in *Vitis vinifera*. *Aust. J. Plant Physiol.* **15**: 641--656.
- Shellie, K. 2006. Vine and Berry Response of Merlot (*Vitis vinifera* L.) to Differential Water Stress. *Am. J. Enol. Vitic.*, **57** (4): 514-518
- Sogrape, 2014. <http://www.sograpevinhos.com/regioes/Alentejo/Clima> - sítio consultado a 11/02/14
- Souza, C.R., Maroco, J.P., Santos, T.P., Rodrigues, M.L., Lopes, C., Pereira, J.P. e Chaves, M.M., 2005. Control of stomatal aperture and carbon uptake by deficit irrigation in two grapevines cultivars. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 106: 216-274.

- Southey, J.M. e Archer, E. The effect of rootstock cultivar on grapevine root distribution and density. . In : The grapevine root and its environment . Ed. Van Zyl, J. L. Pretoria, South Africa: Viticultural and Oenological Research Institute, 1988, Cap. 5, p.57-73.
- Smart, R.E. 1974. Aspects of water relations of the grapevine (*Vitis vinifera*). *Amer. J. Enol. Viticult.*, **25** (2): 84-91.
- Smart, R. E., 1987. Influence of light on composition and quality grape. *Acta Hort.*, 206: 37-43.
- Smart, R., E. Schwass, A. Lakso, e L. Morano. 2006. Grapevine rooting patterns: A comprehensive analysis and a review. *Am. J. Enol. Vitic.* **57**: 89-104.
- Smart, R.; Robinson, M., 1991. Sunlight into wine - A handbook for winegrape canopy management. Winetitles, Adelaide, Austrália, 88 p.
- Smart, R.E., Robinson, M.D. 1992. Sunlight into wine: a handbook for winegrape canopy management. Winetitles, 2nd ed., Underdale, 89pp.
- Spayd, S. E., Tarara, J. M., Mee, D. L., Fergunson, J.C., 2002: Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *Am. J. Enol. Vitic.* **53**, 171-182.
- Spiegel-Roy e Bravdo, B., 1964. Le régime hydrique de la vigne. *Bull. de l'O.I.V.* **397**: 232- - 246
- Tardieu, F. e Simonneau, T., 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany* **49**:419-423.
- Tonietto, J. & Carbonneau, A., 2004. A Multicriteria Climatic Classification System for Grape-growing Regions Worldwide. *Agriculture and Forest Meteorology*. p.81-97.
- Toumi, I., M'Sehli, W., Bourgou, S., Jallouli, N., Bensalem-Fnayou, A., Ghorbel, A., Mliki, A., Response of ungrafted and grafted grapevine cultivars and rootstocks (*Vitis* sp.) to water stress. *Journal International des Sciences la Vigne et du Vin*, **41**, p.85-93, 2007.
- Trambouze, W., Bertuzzi, P., Voltz, M. 1998. Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology*, **91**: 193-208.
- Van Leeuwen, C., Friant, P., Chone, X., Tregoat, O., Koundouras S., Dubourdieu, D. 2004. The influence of climate, soil and cultivar on terroir. *Am. J. Enol. Vitic.*, **55** (3): 207-217.
- Van Leeuwen, C., Seguin, G. 1994. Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la

- maturation du raisin, *Vitis vinifera* variété Cabernet Franc, Saint-Emilion (1990). *J. Int. Science de la Vigne et du Vin*, **28**: 81-110
- Van Leeuwen, C. e Seguin, G., 2006. The concept of terroir in viticulture. *Journal of Wine Research*, **17** (1): 1–10.
- Van Leeuwen, C., Trégoat, O., Choné, X., Jaeck, M.E., Rabusseau, S., Gaudillère, J.-P., 2003. Le suivi du régime hydrique de la vigne et son incidence sur la maturation du raisin. *Bull de l'O.I.V.*, **76** (867-868): 369-379.
- Van Leeuwen, C., Trégoat, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D. & Gaudillere, J. P., 2009. Vine Water Status Is A Key Factor in Grape Ripening and Vintage Quality for Red Bordeaux Wine. How Can It be Assessed for Vineyard Management Purposes? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* 43:121-134.
- Van Zyl, J.L., 1981. Besproeiing. In: Burger, J.D. & Deist, J. (eds). *Wingerdbou in Suid-Afrika*. Nietvoorbij, Stellenbosch, South Africa, pp. 234-282
- Van Zyl, J. L., 1988. Response of grapevine to soil water regimes and irrigation systems. In: *The grapevine root and its environment*. Ed. VAN ZYL, J. L. Pretoria: Department of Agriculture and Water Supply, p. 30-43.
- Vasconcelos, M.; Castagnoli, S. (2000). Leaf canopy structure and vine performance. *Am. J. Enol. Vitic.*, 51(4): 390-396.
- Wample, R. 2001. Grapevine water relations. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp. 62-70.
- Wheaton, A.D., McKenzie, B.M., Tisdall, J.M. 2008. Management to increase the depth of soft soil improves soil conditions and grapevine performance in an irrigated vineyard. *Soil and Tillage Research*, **98** (1): 68-80
- William J. Davies; Sally Wilkinson e Brian Loveys. 2002. Stomatal control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist* 153: 449–460
- Williams, L.E. 2001. The effect of trellis type and canopy size on grapevine water requirements. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, pp 77-83.
- Williams L.E. e Baeza P. 2007. Relationships among ambient temperature and vapor pressure deficit and leaf and stem water potentials of fully irrigated, field-grown grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture* **58**: 173–181.

- Williams, L.E. e Trout, T.J. (2005). Relationships among vine- and soil-based measures of water status in a Thompson Seedless vineyard in response to high-frequency drip irrigation. *Am. J. Enol. Vitic.* **56** (4): 357-366.
- Williams, L. E. e Smith, R. J.,1991. The effect of rootstock on the portioning of dry weight, nitrogen and potassium, and root distribution of Cabernet Sauvignon grapevines. *American Journal for Enology and Viticulture*, v.**42**, n.2, p.118-122.
- Winkel, T. e Rambal, S., 1990. Stomatal conductance of some grapevines growing in the field under a Mediterranean environment. *Agricultural and Forest Meteorology* **51**: 107-121.
- Yunusa, I. A. M., Walker R.R., Blackmore D.H. 1997. Characterisation of water use by Sultana grapevines (*Vitis vinifera* L.) on their own roots or on Ramsey rootstock drip-irrigated with water of different salinities. *Irrig. Sci.*, **17**: 77-86.
- Yuste, J. 2007. Efectos de la forma de conducción del viñedo en el régimen hídrico y en la respuesta agronómica. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 117-144, Madrid
- Yuste, J., Pérez, M.A., Barajas, E. 2007. Efectos de la densidad de plantación en el régimen hídrico del viñedo. *Fundamentos, aplicación y consecuencias del riego en la vid*, Editorial Agrícola Española S.A., pp. 147-166, Madrid.

ANEXOS

Anexo I

Quadro 9 – Calendário de rega e respectiva dotação e data de aplicação em cada modalidade, precipitação (R), evapotranspiração de referência (ET_0), evapotranspiração de campo (ET_c) e coeficiente cultural (k_p)

	SDI	RDI			$k_p = 0.4$	
DIA	T.NAC	T.NAC	R acum	ET_0 acum	ET_c acum	$ET_c \times k_p$
14-06-2013	17.6	-	0.6	75.8	53.1	21.2
21-06-2013	17.6	17.6	2.6	50.0	35.0	14.0
02-07-2013	19.8	19.8	0.0	80.2	56.1	22.5
06-07-2013	19.8	19.8	0.0	34.4	24.1	9.6
09-07-2013	19.8	-	0.0	28.4	19.9	8.0
13-07-2013	19.8	-	0.0	31.6	22.1	8.9
20-07-2013	19.8	19.8	0.0	44.0	30.8	12.3
23-07-2013	24.2	-	0.0	21.4	15.0	6.0
30-07-2013	22.0	22.0	0.2	39.1	27.4	10.9
06-08-2013	19.8	19.8	0.0	40.1	28.1	11.2
09-08-2013	19.8	-	0.0	19.0	13.3	5.3
13-08-2013	17.6	17.6	0.0	24.6	17.2	6.9
16-08-2013	19.8	-	0.0	19.9	13.9	5.6
20-08-2013	19.8	13.2	0.0	24.3	17.0	6.8
23-08-2013	19.8	9.9	0.0	18.3	12.8	5.1
30-08-2013	19.8	-	9.4	33.0	23.1	9.2
06-09-2013	17.6	-	3.0	28.7	20.1	8.0
Somatório	334.4	159.5	15.8	612.9	429.0	171.6
% ET_c applied	82%	41%				

Anexo II

Quadro 10 – Operações culturais na casta Toriga Nacional na Herdade do Esporão (Talhão015) durante o ciclo vegetativo de 2013

Data	Operação	Data	Operação
30-10-2012	Análises de Terra	02-05-2013	1º Tratamento
23-11-2012	Pré-Poda	03-05-2013	1º Tratamento
28-11-2012	Monda Manual (Roçadoras)	14-05-2013	Rega (Manutenção)
29-11-2012	Monda Manual (Roçadoras)		Movimentar Arames 2ª
30-11-2012	Monda Manual (Roçadoras)	17-05-2013	2º Tratamento
12-12-2012	Poda CRB	18-05-2013	Rega (Manutenção)
	Tirar Vides		Movimentar Arames 2ª
13-12-2012	Poda CRB	20-05-2013	2º Tratamento
	Tirar Vides	21-05-2013	2º Tratamento
14-12-2012	Poda CRB	28-05-2013	Controlo do Coberto Vegetal 2ª
	Sementeira	29-05-2013	Controlo do Coberto Vegetal 2ª
	Tirar Vides	03-06-2013	Controlo do Coberto Vegetal 2ª
17-12-2012	Poda CRB	05-06-2013	3º Tratamento
	Tirar Vides	14-06-2013	Poda em Verde 1ª
18-12-2012	Poda CRB		Poda em Verde 2ª
	Tirar Vides		Movimentar Arames 2ª
25-01-2013	Reparar Aramações	17-06-2013	Controlo do Coberto Vegetal 2ª
08-02-2013	Reparar Aramações (Bate Paus)	18-06-2013	Controlo do Coberto Vegetal 2ª
18-02-2013	Reparar Aramações (Bate Paus)	20-06-2013	4º Tratamento
22-02-2013	Triturar Resíduos de Poda	21-06-2013	4º Tratamento
04-03-2013	Atar	27-06-2013	Desponta 1ª
05-03-2013	Atar	28-06-2013	Desponta 1ª
11-03-2013	Reparar Cabeceiras	08-07-2013	5º Tratamento
08-04-2013	Poda em Verde 1ª	09-07-2013	5º Tratamento
17-04-2013	Controlo do Coberto Vegetal 1ª	14-08-2013	Cortar Bravos2
18-04-2013	Controlo do Coberto Vegetal 1ª	12-09-2013	Vindima Manual
19-04-2013	Controlo do Coberto Vegetal 1ª		Recolha e Transporte de Uva
20-04-2013	Monda Manual (Roçadoras) 2	16-09-2013	Vindima Manual
21-04-2013	Monda Manual (Roçadoras) 2		Recolha e Transporte de Uva
30-04-2013	1º Tratamento	04-10-2013	Rega (Monitorização)
01-05-2013	1º Tratamento		

Anexo III

Quadro 11 – Escala fenológica BBCH para a videira

MAIN STAGE 0: SPROUTING / BUD DEVELOPMENT			
00	Dormancy: winter buds pointed to rounded, light or dark brown according to cultivar; bud scales more or less closed according to cultivar		
01	Beginning of bud swelling: buds begin to expand inside the bud scales		
03	End of bud swelling: buds swollen, but not green		
05	“Wool stage”: brown wool clearly visible		
07	Beginning of bud burst: green shoot tips just visible		
09	Bud burst: green shoot tips clearly visible		
MAIN STAGE 1: LEAF DEVELOPMENT			
MESO STAGE 0 – FIRST TEN LEAVES			
101	First leaf unfolded and spread away from shoot		
102	2nd leaves unfolded		
103	3rd leaves unfolded	MAIN STAGE 5: INFLORESCENCE EMERGENCE	
104	4th leaves unfolded		
105	5th leaves unfolded (10 cm long shoots)	53	Inflorescences clearly visible
106	6th leaves unfolded	55	Inflorescences swelling, flowers closely pressed together
107	7th leaves unfolded		
108	8th leaves unfolded	57	Inflorescences fully developed; flowers separating
109	9th leaves unfolded		
MESO stage 1 – SECOND TEN LEAVES		MAIN STAGE 6: FLOWERING	
110	10th leaves unfolded		
111	11th leaves unfolded		
112	12th leaves unfolded		
113	13th leaves unfolded	61	Beginning of flowering: 10% of flowerhoods fallen
114	14th leaves unfolded	63	Early flowering: 30% of flowerhoods fallen
115	15th leaves unfolded	65	Full flowering: 50% of flowerhoods fallen
116	16th leaves unfolded	67	70% of flowerhoods fallen
117	17th leaves unfolded	69	End of flowering
118	18th leaves unfolded		
119	19th leaves unfolded		
MAIN STAGE 7: DEVELOPMENT OF BERRIES			
71	Fruit set: young fruits begin to swell, remains of flowers lost		
73	Berries pea-sized, bunches hang (4mm)		
75	Berries pea-sized, bunches hang (6 mm)		
77	Berries beginning to touch (cluster closure)		
79	Majority of berries touching		
MAIN STAGE 8: RIPENING OF BERRIES			
81	Beginning of ripening: berries begin to develop variety-specific colour (beginning of veraison)		
83	Berries developing colour		
85	Berries not yet ripe for harvest (Specific CV °Brix thresholds should be defined)		
89	Berries ripe for harvest (Specific CV °Brix thresholds should be defined)		